



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño y Simulación de una Vivienda basada en Energías Renovables

Autora

Celia Roldán Gil

Tutor

Antonio Soria Verdugo

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Julio de 2014

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, a mi hermana y por supuesto, a mi tutor.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	7
1.1 Motivo del estudio.....	8
1.2 Cambio climático.....	9
1.2.1 Gases de efecto invernadero.....	10
1.2.2 Protocolo de Kioto y objetivos para el 2020.....	12
1.3 Situación energética en España.....	16
1.3.1 Consumo de energía primaria en España.....	17
1.3.2 Consumo de energía primaria por tipo en España.....	22
1.3.3 Producción de gases de efecto invernadero en España..	24
1.3.4 Consumo de energía final en España.....	25
1.3.5 Consumo de energía final por sectores en España.....	26
1.3.6 Consumo de energía en el sector de la edificación.....	27
1.4 Conclusión.....	29
 CAPÍTULO 2.....	 30
2.1 Conducción.....	31
2.2 Convección.....	34
2.3 Radiación.....	36
2.3.1 Radiación atmosférica solar.....	37
2.3.2 Radiación solar en planos distintos al horizontal.....	38
2.3.3 Desdoblamiento de la radiación horizontal: directa y difusa.....	42
2.3.4 Cálculo de la radiación horaria total sobre la superficie inclinada (I_t).....	43
2.4 Psicrometría.....	43
2.5 Carga térmica.....	45
2.5.1 Tipos de cargas térmicas.....	47
2.5.1.1 Carga térmica de Transmisión.....	47
2.5.1.2 Carga térmica de Ventilación e Infiltraciones...	47
2.5.1.3 Carga térmica de Radiación.....	48
2.5.1.4 Carga térmica Interna.....	48
2.5.2 Método de cálculo de las CARGAS TÉRMICAS.....	48
2.5.2.1 Código Técnico de la Edificación.....	48
2.5.2.2 Descripción y localización de la vivienda.....	50
2.5.2.3 Composición del muro exterior de la vivienda,	

característica de cada material y espesores.....	51
2.5.2.5 Composición del techo de la vivienda, característica de cada material y espesores.....	51
2.5.2.6 Método de cálculo de la transmitancia en muro, suelo y cubierta.....	51
CAPÍTULO 3.....	54
3.1 Carga Calefacción.....	55
3.1.1 Transmisión.....	55
Cerramiento.....	55
Suelo.....	56
Cubierta.....	57
Ventanas.....	58
Puertas.....	60
3.1.2 Intercambio de aire.....	61
Ventilación.....	61
Infiltraciones.....	63
3.2 Carga Refrigeración.....	66
3.2.1 Transmisión.....	66
Cerramiento.....	66
Cubierta.....	67
Ventanas.....	68
Puertas.....	69
3.2.2 Intercambio de aire.....	70
Ventilación.....	70
Infiltraciones.....	72
3.2.3 Radiación.....	73
3.2.4 Internas.....	79
Ocupación.....	79
Iluminación.....	79
Equipos.....	79
3.3 Carga total de un año.....	80
CAPÍTULO 4.....	81
4.1 Producción de ACS.....	82
4.2 Producción de Calefacción.....	90

4.3 Presupuesto de la Instalación Solar Térmica y Análisis Ambiental.....	93
CAPÍTULO 5.....	95
5.1 Instalación Solar Fotovoltaica.....	96
5.2 Modelización de la Instalación Fotovoltaica.....	97
5.2.1 Modelo de los Módulos Fotovoltaicos.....	98
5.2.2 Modelo del Inversor.....	103
5.2.3 Modelo del equipo de Compresión Mecánica.....	104
5.3 Dimensionado de la Instalación Fotovoltaica.....	111
5.4 Análisis Económico y Ambiental de la Instalación Solar Fotovoltaica.....	114
CAPÍTULO 6.....	115
6.1 ¿Por qué diseñar una Vivienda basada en Energías Renovables?.....	116
6.2 Diseño de la Vivienda.....	117
6.3 Cálculo de la Carga Térmica de la Vivienda.....	117
6.4 Instalaciones Térmicas de la Vivienda.....	118
6.4.1 Análisis económico de las instalaciones térmicas.....	118
6.5 Instalación Solar Fotovoltaica.....	119
6.5.1 Análisis económico de la instalación solar fotovoltaica.....	119
6.6 Ahorro de Emisiones de CO ₂	119
BIBLIOGRAFÍA.....	120
ANEXO.....	123
I. Planos de la Vivienda.....	124
II. Colectores Solar-Lito Mini WORCESTER.....	126
III. Tanque de Acumulación BIOSAN.....	127
IV. Caldera de Pellets Serie GPL 40 BIOSAN.....	128
V. Módulos Fotovoltaicos A240P GS Atersa grupo <i>Elecnor</i>	130
VI. Inversor TAURO BC 5048 Atersa grupo <i>Elecnor</i>	131
VII. Máquina de compresión mecánica 30RB021 <i>Carrier</i>	132

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVO DEL ESTUDIO

Durante las décadas de los años 1840 y 1850, varios físicos entre ellos *Joule* y *Clasious*, desarrollaron una importante ley que afirma que la energía no se crea ni se destruye, solo cambia de una forma a otra. Esta ley es la primera ley de la termodinámica y en base a este enunciado, se quiere analizar la posibilidad de abastecer el consumo energético de una vivienda familiar, a partir de energía procedente de recursos renovables.

El desarrollo del proyecto se sitúa en la Comunidad de Madrid, donde se quiere desarrollar una vivienda que atienda la demanda de calefacción, agua caliente, luz y electricidad con tecnologías completamente renovables. Para su desarrollo se emplearán tecnologías renovables presentes en la actualidad, solar térmica, solar fotovoltaica y biomasa.

El motivo principal del estudio de este proyecto, viene en base a un problema medioambiental que preocupa en la actualidad, el cambio climático. Un consumo incontrolado de combustibles fósiles desde la revolución industrial, ha hecho que la concentración de contaminantes en la atmósfera haya incrementado, tanto, como para cambiar las condiciones meteorológicas del planeta en el que vivimos.

Para paliar los cambios en el ecosistema, se desarrolló en 1997 el protocolo de Kioto, cuyo objetivo es reducir las emisiones de gases responsables del cambio climático. Sin embargo, este protocolo no controla las emisiones del sector residencial, considerado como un sector difuso, y que compone alrededor de una tercera parte de las emisiones totales. Debido a la dificultad y coste que conlleva el control de las emisiones en ese sector, es imprescindible buscar diferentes mecanismos para reducir emisiones.

Por otro lado, la población aumenta y el consumo energético también, sin embargo, los recursos energéticos van disminuyendo, otro motivo por el cual es necesario buscar alternativas energética para favorecer la demanda energética de todo el mundo.

Para determinar la instalación de la tecnología renovable, se realizará un estudio de la demanda energética de una vivienda familiar, tanto demanda calorífica como demanda en luz y electricidad.

Finalmente se realizará un estudio económico-ambiental para conocer las mejoras ambientales que supone el desarrollo de este tipo de vivienda, y el gasto que conlleva la construcción de la misma, para determinar la viabilidad de este proyecto.

1.2 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es el principal problema medioambiental que existe en la actualidad. Este problema es el resultado directo o indirecto de la acción humana. La principal causa del cambio climático se debe a la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

El efecto invernadero es un fenómeno natural que permite mantener la temperatura del planeta constante. Este fenómeno se da en la atmósfera por la presencia de ciertos gases, principalmente dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O). Estos gases absorben parte de la energía reflejada por la superficie de la tierra procedente de la radiación solar. En un periodo tiempo suficientemente largo la cantidad de energía que llega a la Tierra procedente de la radiación solar se compensa con la energía infrarroja reflejada al espacio, manteniendo así, la temperatura global de la Tierra constante. Pero si se produce un aumento de gases de efecto invernadero, la cantidad de energía reflejada al espacio disminuye, debido a que estos gases vuelven a reflejar la radiación infrarroja hacia la superficie. El resultado es un aumento de la temperatura global del planeta, lo que conlleva al cambio climático.

Finalmente el efecto invernadero es un fenómeno importante, ya que, mantiene el clima de la Tierra constante, pero desde hace años se está viendo afectado por la presencia excesiva de los gases de efecto invernadero debida fundamentalmente a la acción humana.

1.2.1 Gases de efecto invernadero

Los principales gases de efecto invernadero son aquellos que favorecen dicho efecto, y, por tanto, al incremento de la temperatura del planeta. En general, todas las emisiones de esos gases están relacionadas con la acción humana. A continuación se describen los principales gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera.

Dióxido de carbono (CO_2)

El dióxido de carbono es el gas que más contribuye al efecto invernadero. Su cantidad en la tierra es ilimitada, ya que forma el ciclo de carbono. Además su concentración en la atmósfera está aumentando debido a las emisiones derivadas de la acción humana.

Vapor de agua (H_2O)

El vapor de agua es el principal gas que contribuye al efecto invernadero *natural* ya que, absorbe la radiación infrarroja procedente de la superficie terrestre. El vapor de agua forma parte del ciclo hidrológico, con lo cual se encuentra en la Tierra de forma ilimitada.

Metano (CH_4)

Este gas se produce como resultado de procesos anaeróbicos. El metano es el segundo gas que más interviene en el efecto invernadero pero, a diferencia de los dos gases anteriores su concentración es más baja.

Oxido Nitroso

La formación de este compuesto es debida a las bacterias presentes en el suelo. Su formación se intensifica con la acción humana debido al uso de fertilizantes, quema de combustibles fósiles y productos procedentes de la industria química. Al igual que los gases anteriores sus moléculas retienen el calor favoreciendo al aumento de la temperatura global.

Halocarbonos

Los halocarbonos son compuestos de origen antrópico formados por carbono y halógenos, tales como cloro, flúor, bromo e hidrógeno. Estos compuestos son los principales responsables de la destrucción de la capa de ozono.

Hexafluoruro de azufre S_6F

El S_6F es un compuesto inorgánico causante del efecto invernadero aunque en proporciones menores a los anteriores. Suele emplearse como aislante en la distribución de electricidad de alta tensión, además de utilizarse en la industria siderúrgica y en cirugía ocular.

Ozono O_3

La molécula del ozono está compuesta por tres átomos de oxígeno. Está presente en la atmósfera de forma natural y desenvuelve un papel fundamental en la atmósfera, aunque hay que diferenciar el ozono que se encuentra en la estratosfera y en la troposfera. El primero de ellos se forma por la acción de la radiación ultravioleta y actúa como filtro impidiendo el paso de los rayos ultravioleta. El ozono troposférico es aquel que se encuentra como gas en el ambiente, y procede de la reacción fotoquímica de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. Es el principal constituyente del *smog* fotoquímico, además de favorecer al efecto invernadero.

Este gráfico muestra la evolución de la proporción de gases de efecto invernadero en Europa desde 1997 hasta 2009.

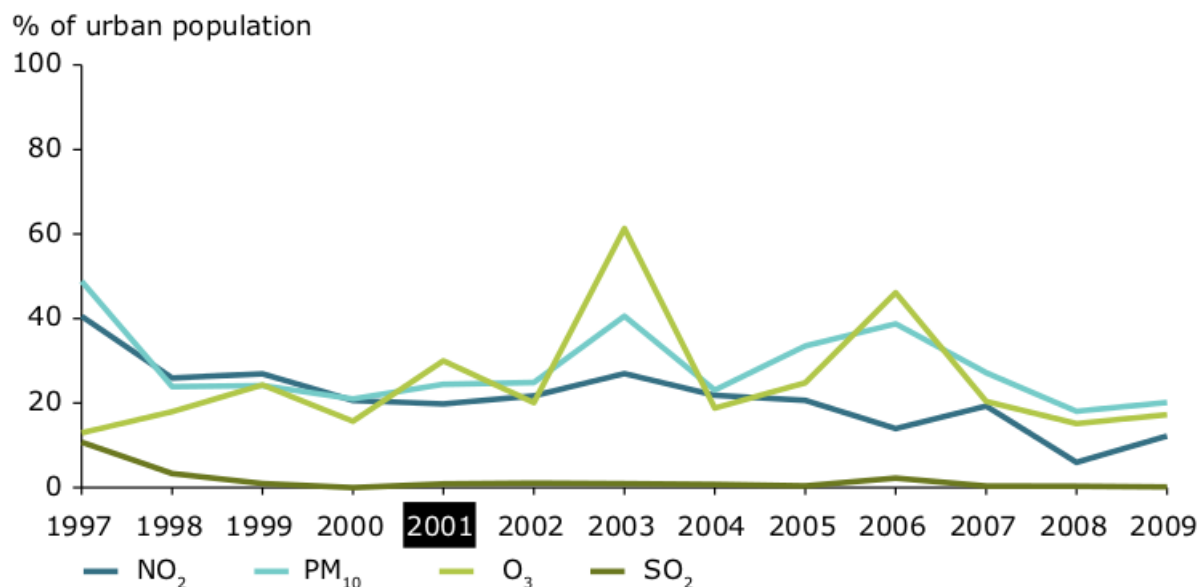


Figura 1.1: Evolución de la proporción de gases de efecto invernadero

Es interesante conocer dos características fundamentales de los gases de efecto invernadero: GWP (Global Warming Potencial) y el tiempo de vida en la atmósfera.

GWP

Indica cuanto calor puede ser absorbido por un gas de efecto invernadero en comparación con un gas de referencia, en este caso el dióxido de carbono. La siguiente tabla muestra GPW de cada uno de los gases referido a un periodo de tiempo definido para 20, 100 y 500 años.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC	HFC
GWP	1	23-30	230	4000-15000	400-3000

Tabla 1.1: GWP del CO₂, CH₄, N₂O, CFC y HFC

Tiempo de vida en la atmósfera

Se define como el tiempo que tarda un contaminante en reducir su concentración a la mitad. Cada gas de efecto invernadero posee un tiempo de vida distinto, siendo el más alto el del CO₂, con un periodo entre 20 y 200 años.

1.1.2 Protocolo de Kioto y objetivos para el 2020

Como resultado, para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero, se firmó el protocolo de Kioto en diciembre de 1997. En la actualidad este protocolo es el principal instrumento internacional que delimita las emisiones de los seis gases de efecto invernadero originados por actividad humana: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

El Protocolo entró en vigor gracias a la aprobación de 164 naciones que representaban el 61% del total de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, superado en un 6% lo necesario para llevar a cabo el Protocolo. Finalmente el acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, tras la aceptación de Rusia en 2004.

La generación de electricidad, el refinado de hidrocarburos, las coquerías, la calcinación o sinterización de minerales metálicos, la producción de arrabio o de acero, la fabricación de cemento y cal, la fabricación de vidrio, la fabricación de productos cerámicos y la fabricación de papel y cartón son las actividades a las cuales se les exigen regular las emisiones, dejando libertad al sector del

transporte y al sector residencial, que implican dos tercios del total de las emisiones.

El objetivo del Protocolo de Kioto, en su primera etapa, constaba en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 5,2% respecto al año base (1990) durante el periodo 2008-2012. Después de esta primera etapa, se celebró la cumbre de Doha del 26 de noviembre al 6 de diciembre de 2012, para dar continuidad al Protocolo de Kioto, donde se establecieron las pautas necesarias para hacer posible un segundo periodo a partir del 1 de enero de 2013.

La Unión Europea se ha comprometido en Doha a reducir las emisiones en un 20% (hasta un 30% si las condiciones son las adecuadas) en 2020 respecto a los niveles del año 1990. A continuación se establecen los principales elementos del acuerdo:

“

- *Se asegura la continuación efectiva del Protocolo el 1 de enero de 2013, lo que evita un vacío de aquí a que sea posible la ratificación de las enmiendas por los parlamentos nacionales.*
- *Se establece una duración de 8 años para el segundo periodo de compromiso, es decir hasta el 31 de diciembre de 2020, alineando así los calendarios con la propia legislación comunitaria, el Paquete de Energía y Cambio Climático “20/20/20”.*
- *Se garantiza el acceso a los mecanismos de flexibilidad a partir del 1 de enero de 2013 a aquellos países que inscriban su objetivo en el Protocolo. De manera específica en relación al acceso a los mecanismos en Doha se ha acordado:*
 - *Que todos los países desarrollados que inscriben un objetivo de reducción en un segundo periodo de compromiso tienen acceso total al mecanismo de desarrollo limpio (MDL) desde el 1 de enero de 2013 (UE, y por tanto España, Suiza, Noruega, Australia...).*
 - *Que todos los países desarrollados que no tengan compromisos en un segundo periodo de compromiso tienen acceso al uso del*

MDL desde el 1 de enero de 2013, pero no podrán transferir y adquirir las unidades; sólo invertir en los proyectos, recibir las unidades y utilizarlas en sus sistemas domésticos (Nueva Zelanda, Japón). La Unión Europea valora positivamente esta solución, ya que mantiene vivo el mecanismo de desarrollo limpio aumentando su demanda. España siempre ha apoyado este mecanismo que contribuye a la consecución de reducciones globales y al desarrollo sostenible a través de la transferencia de tecnologías limpias y en donde nuestras empresas han tenido una participación ejemplar y podrán continuar recibiendo los beneficios de las inversiones realizadas en este mecanismo.

- Se establece un mecanismo en 2014 que posibilita incrementos de los objetivos incluidos en el segundo periodo de compromiso del Protocolo, y lo hace de manera paralela y complementaria a un proceso establecido para todos los países en el ámbito de la Plataforma de Durban. Pero el Protocolo de Kioto por sí mismo no es suficiente, ni para la lucha contra el cambio climático (los países que van al segundo periodo del Protocolo sólo suponen un 14% de las emisiones globales) ni para muchos países, entre ellos la Unión Europea, que demandan avances significativos en los otros ejes de negociación. De ahí la importancia de los resultados en los otros grandes procesos.*
- En la Plataforma de Durban: se establece un programa de trabajo para 2013 con el que se cambia el ritmo del trabajo del grupo que a partir del año que viene centrará toda la atención en la negociación, poniendo unas bases fuertes con vistas a la Conferencia de las Partes en París en 2015.*
- El Grupo de Trabajo de la Convención: con el resultado de Doha, se cumple con el mandato del Plan de Acción de Bali cumpliendo así sus objetivos y habiendo establecido un gran número de procesos e instituciones con los que se enmarca la implementación de los esfuerzos en materia de cambio climático en el corto y medio plazo.*

”

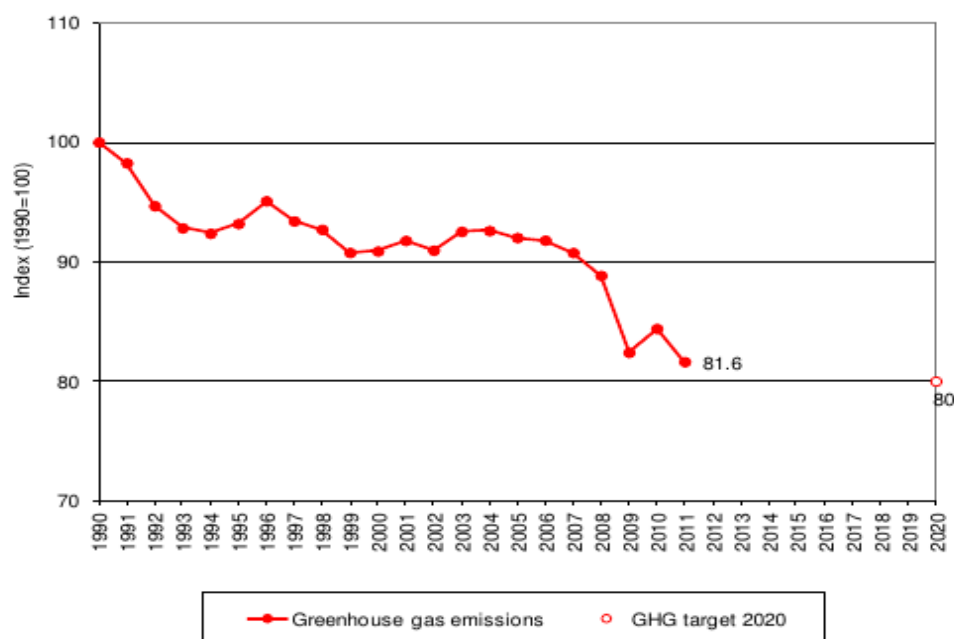


Figura 1.2: Emisiones de efecto invernadero de la Europa de los 27 de 1990 a 2012

En este gráfico se representan las emisiones de gases de efecto invernadero de la Europa de los 27 desde los años 1990 hasta 2012, además de incluir el objetivo previsto para el 2020.

En la siguiente figura se pueden ver los últimos datos de emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes con el año 2011. Además se añade el objetivo propuesto en la primera etapa del Protocolo de Kioto para el periodo 2008-2012.

MEMBER STATE	Kyoto Protocol							Targets
	1990 (million tonnes)	base year (a) (million tonnes)	2011 (million tonnes)	2010-2011 (million tonnes)	Change 2010- 2011 (%)	Change 1990- 2011 (%)	Change base year-2011 (%)	2008-12 under Kyoto Protocol and "EU burden sharing" (%)
Austria	78.2	79.0	82.8	-2.2	-2.6%	6.0%	4.8%	-13.0%
Belgium	143.1	145.7	120.2	-11.6	-8.8%	-16.0%	-17.5%	-7.5%
Denmark	68.7	69.3	56.2	-5.0	-8.1%	-18.1%	-18.9%	-21.0%
Finland	70.4	71.0	67.0	-7.5	-10.1%	-4.9%	-5.6%	0.0%
France	556.4	563.9	485.5	-28.7	-5.6%	-12.7%	-13.9%	0.0%
Germany	1250.3	1232.4	916.5	-27.0	-2.9%	-26.7%	-25.6%	-21.0%
Greece	104.6	107.0	115.0	-2.2	-1.9%	10.0%	7.5%	25.0%
Ireland	55.2	55.6	57.5	-4.0	-6.5%	4.1%	3.4%	13.0%
Italy	519.0	516.9	488.8	-11.5	-2.3%	-5.8%	-5.4%	-6.5%
Luxembourg	12.9	13.2	12.1	-0.15	-1.3%	-6.2%	-8.1%	-28.0%
Netherlands	211.8	213.0	194.4	-14.8	-7.1%	-8.2%	-8.8%	-6.0%
Portugal	61.0	60.1	70.0	-1.4	-2.0%	14.8%	16.4%	27.0%
Spain	282.8	289.8	350.5	1.8	0.5%	23.9%	21.0%	15.0%
Sweden	72.8	72.2	61.4	-4.0	-6.2%	-15.5%	-14.8%	4.0%
United Kingdom	767.3	776.3	552.6	-41.3	-7.0%	-28.0%	-28.8%	-12.5%
EU-15	4254.5	4265.5	3630.7	-159.6	-4.2%	-14.7%	-14.9%	-8.0%
Bulgaria	109.5	132.6	66.1	5.8	9.6%	-39.6%	-50.1%	-8.0%
Cyprus	6.1	Not applicable	9.2	-0.3	-3.1%	50.3%	Not applicable	Not applicable
Czech Republic	196.0	194.2	133.5	-3.9	-2.9%	-31.9%	-31.3%	-8.0%
Estonia	40.5	42.6	21.0	1.0	4.8%	-48.3%	-50.8%	-8.0%
Hungary	99.0	115.4	66.1	-1.8	-2.6%	-33.2%	-42.7%	-6.0%
Latvia	26.3	25.9	11.5	-0.5	-4.5%	-56.3%	-55.6%	-8.0%
Lithuania	48.8	49.4	21.6	0.5	2.3%	-55.7%	-56.3%	-8.0%
Malta	2.0	Not applicable	3.0	0.02	0.8%	50.6%	Not applicable	Not applicable
Poland	457.0	563.4	399.4	-2.3	-0.6%	-12.6%	-29.1%	-6.0%
Romania	244.4	278.2	123.3	6.7	5.8%	-49.5%	-55.7%	-8.0%
Slovakia	71.8	72.1	45.3	-0.6	-1.3%	-36.9%	-37.1%	-8.0%
Slovenia	18.4	20.4	19.5	0.0	0.1%	5.8%	-4.1%	-8.0%
EU-27	5574.4	Not applicable	4550.2	-155.0	-3.3%	-18.4%	Not applicable	Not applicable

Figura 1.3: Emisiones de efecto invernadero del año 2011

Esta tabla muestra que España, durante los años 2008 y 2012, podía aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero hasta un 15%, sin embargo en el año 2011 superó ese porcentaje hasta un 21%. Por otro lado, ciertos países tenían que reducir sus emisiones, como en el caso de Reino Unido que llegó a reducir un 16,3% más de lo firmado. Otros, como Francia y Finlandia tenían que mantener sus emisiones constantes.

1.3 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

La caída de la demanda energética española refleja muy bien la crisis económica en la que está sumergido el país, cerrando la demanda del año 2012 a niveles similares a los del 2005, experimentando una caída del 1,3% respecto a 2011. Sin embargo, la producción bruta de energía eléctrica aumentó un 1,5% respecto al año anterior (2011).

A continuación, se realizará un estudio detallado de la situación energética en España para conocer con más detalle el estado en el que se

encuentra España desde el punto de vista energético, así como, la evolución que ha experimentado a lo largo de los años.

1.3.1 Consumo de energía primaria en España

A continuación se presenta el consumo total de energía primaria en España desde los años 1972 y 2012,

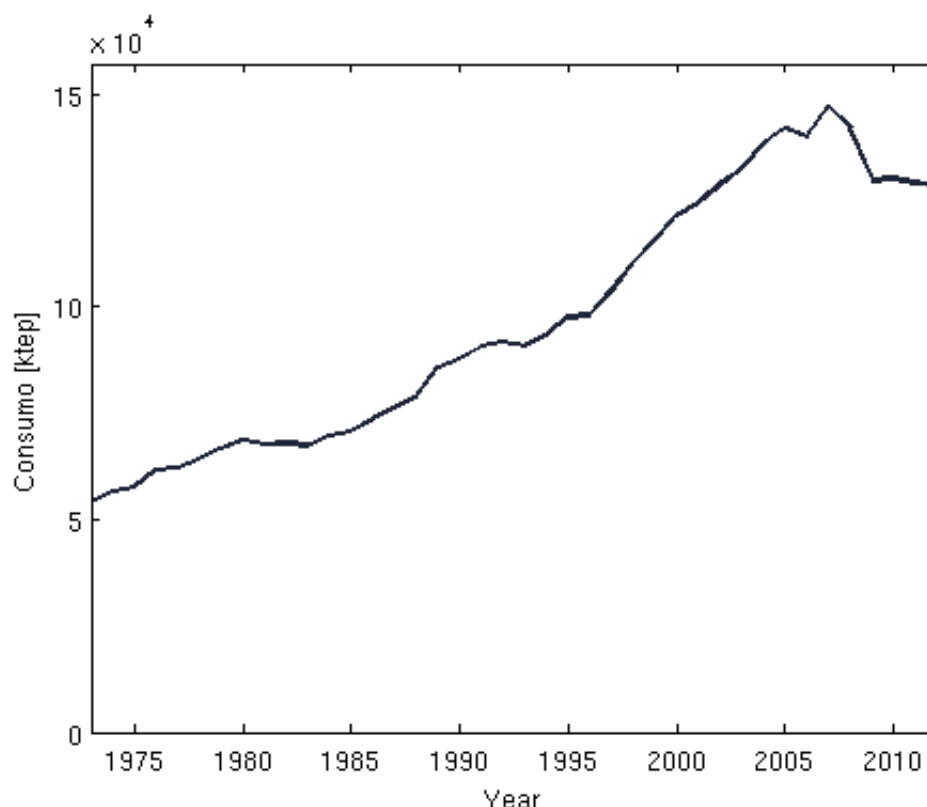


Figura 1.4: Consumo de energía primaria en España

En él se puede apreciar un incremento en el consumo de energía primaria desde 1972 hasta 2008. Entre esos años hay ligeros cambios en el uso de la energía, así como se ve reflejada la crisis del petróleo que afectó al mundo entero en el año 1973 hasta 1980, donde el consumo siguió siendo similar a la década de los 70. Desde el año 1990 hasta el 2008 consumo de la energía se disparó debido a un incremento de natalidad y la buena situación económica de la que disfrutaba España. Pero a partir de ese año hasta la actualidad se ha producido una variación negativa en el consumo, por culpa de la crisis económica que afecta a España hoy en día.

Para justificar cómo afecta el consumo de energía con el incremento de población, se muestra el siguiente gráfico que representa la evolución de población desde 1986 hasta 2012.

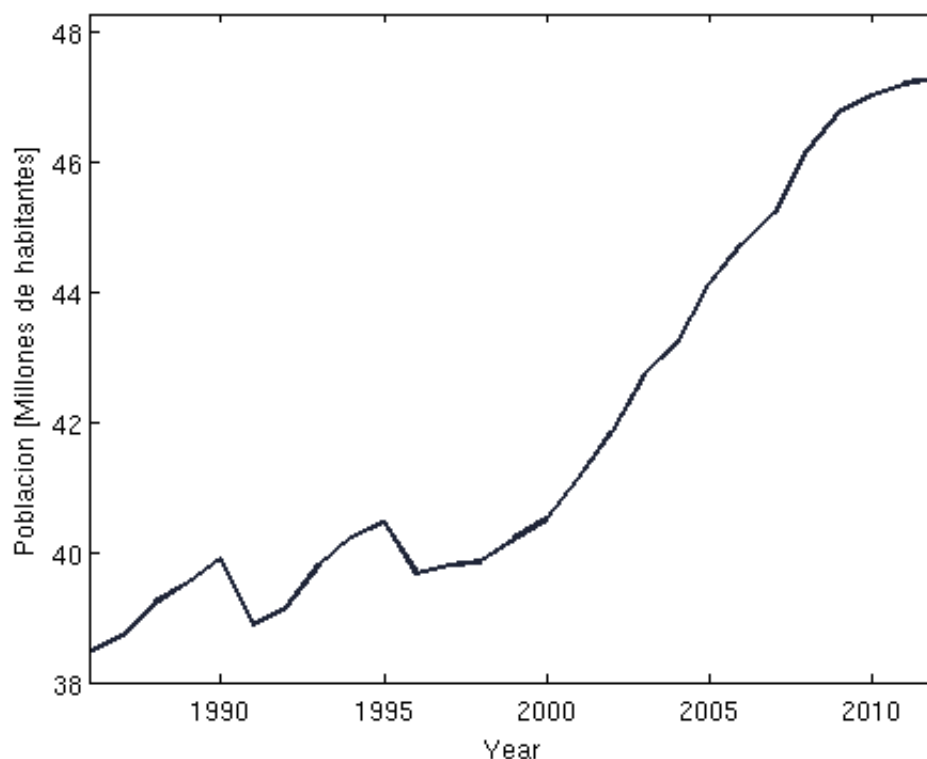


Figura 1.5: Evolución de la población en España

De 1980 hasta 1999, el crecimiento de la población se vio frenado por el impacto que tuvo en España la fuerte crisis económica internacional que se inició en 1974, sin embargo, no fue hasta el 2000 cuando la población empezó a aumentar por la llegada de inmigrantes, y por los nacimientos que aportó este colectivo. Por otro lado, desde que comenzó la crisis la población se ha mantenido en valores constantes, debido a la disminución de natalidad y a la emigración como consecuencia de ausencia de empleo en nuestro país.

El consumo de energía por habitante se ha ido incrementando con los años, pero al igual que el consumo de energía primaria, éste también ha disminuido por el mismo motivo, por la crisis económica-financiera. En la actualidad el consumo medio por habitante se encuentra en 2,8 tep, llegando a alcanzar en años con buena situación económica más de 3,1 tep.

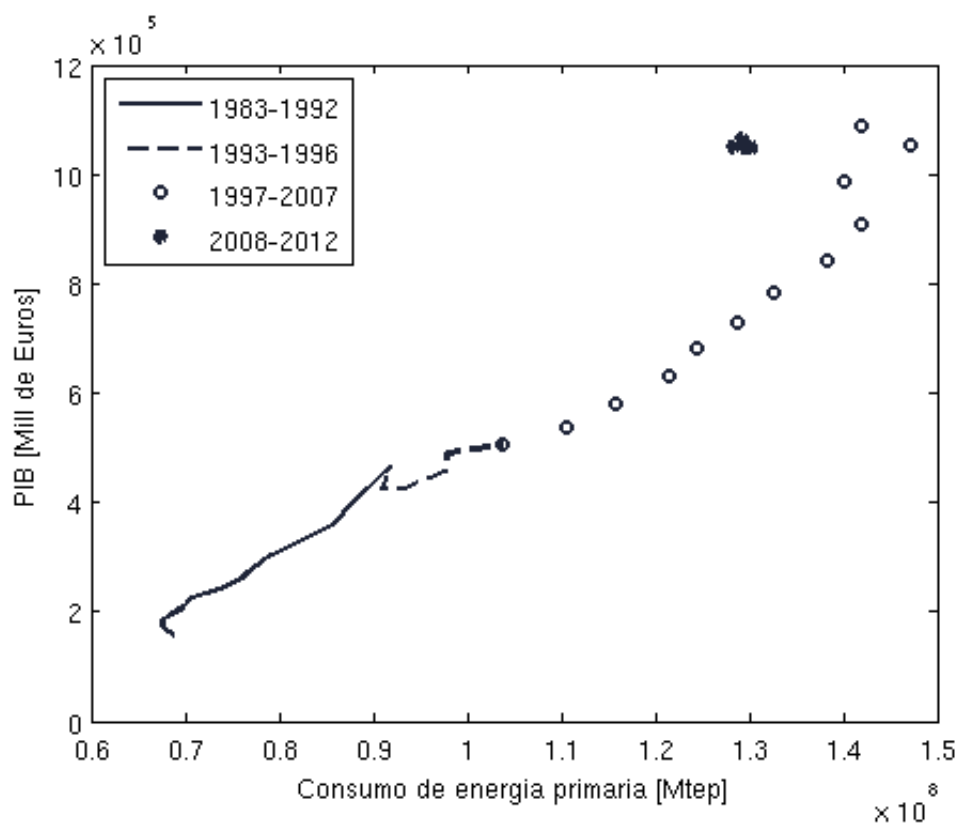


Figura 1.6: Correlación entre PIB y consumo energético

En esta gráfica se puede contemplar cuatro partes, una primera parte que corresponde con el periodo comprendido entre 1980-1993, donde se aprecia un crecimiento lineal, esto es porque el país consumía en proporción a la riqueza que generaba. En 1993 comenzó una crisis económica que no se solventó hasta 1997, como se puede observar en el gráfico el PIB sufre una caída al igual que el consumo de energía primaria. La tercera parte destaca por su relación lineal entre el consumo y el PIB, que corresponde a 1997, cuando finaliza la crisis, y termina en 2008, cuando comienza la crisis en la que está envuelta España en la actualidad. Finalmente, una cuarta parte (2008-2012), se produce una reducción en el consumo de energía y un estancamiento en la economía, debido a la recesión económica. Por otro lado, hay que destacar que en el último periodo España ha mejorado su eficiencia energética ya que con menos consumo genera la misma riqueza.

En el siguiente gráfico se representa la relación entre PIB, en los años 1980-2012, y el consumo de energía primaria. Esto es la intensidad energética (I), que indica cuanta energía hay que consumir para incrementar el PIB en una unidad (PIB).

$$I = \frac{E}{PIB} \quad (1.1)$$

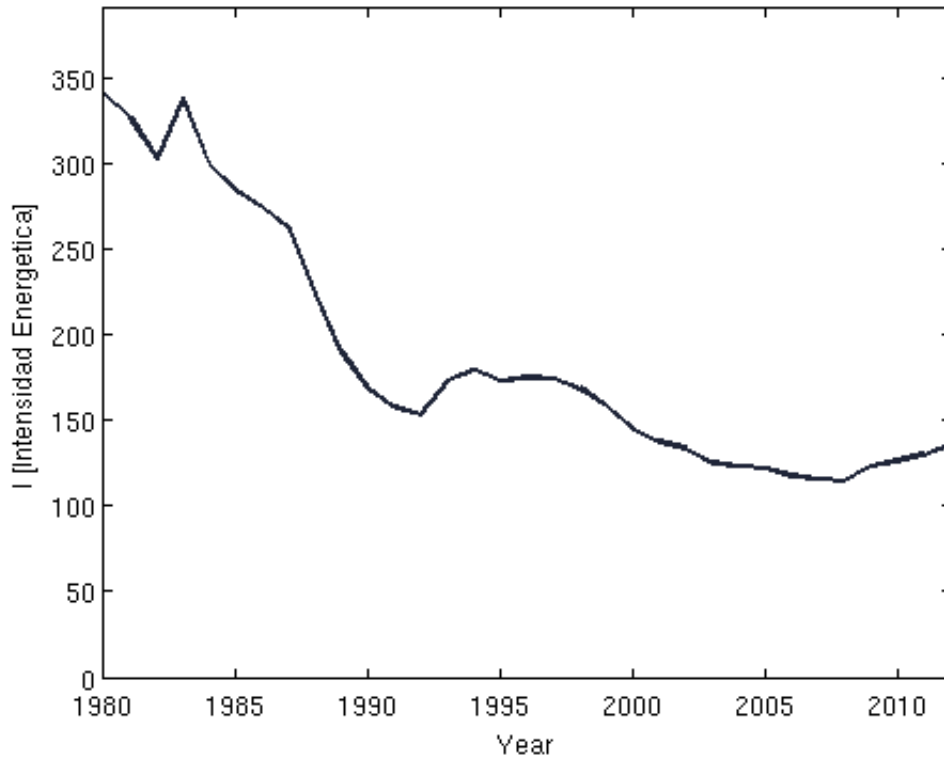


Figura 1.7: Intensidad energética primaria en España

Este factor sirve como indicador de la eficiencia energética de la economía de un país. Si el factor es bajo indica que el país es eficiente en la energía que consume, si es alto el país consume más energía de la riqueza que genera.

Este gráfico muestra la evolución de la intensidad energética española. Este indicador ha incrementado en los últimos años, convirtiendo a España en uno de los países de la Unión Europea con peor eficiencia energética, es decir, consume mucho para la riqueza que genera. Esto tiene especial preocupación debido a que España tiene una dependencia energética del 80%, frente al 50% de la UE. Para un mejor conocimiento de la dependencia externa que posee nuestro país, se presenta un gráfico que muestra la evolución del grado de autoabastecimiento desde 2002 hasta la actualidad.

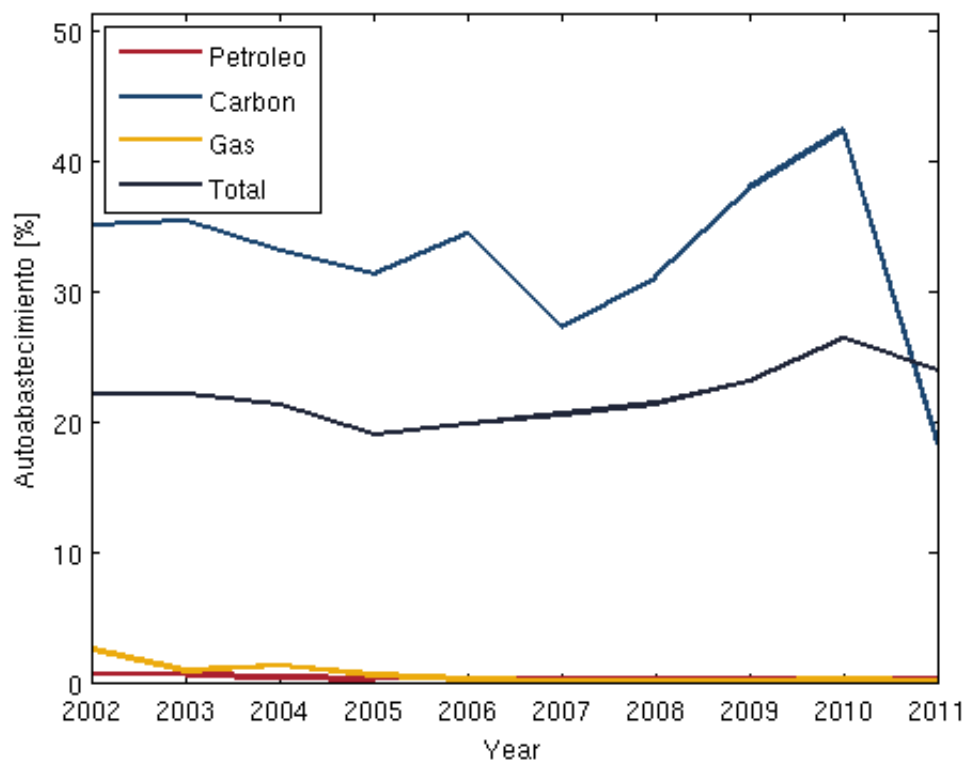


Figura 1.8: Grado de autoabastecimiento en España

Según este gráfico, España es un país que posee un grado de autoabastecimiento casi inexistente en gas natural y petróleo, ronda el 1%, lo que hace que España tenga que importar esos combustibles del exterior. Sin embargo, el grado de autoabastecimiento en carbón siempre ha sido algo más elevado, en torno al 40%, pero en la actualidad, ese porcentaje ha caído a un 18%, debido a que en 2011¹ se crearon las normativas nacionales que regulan la actividad de la minería del Carbón, provocando el cierre de muchas minas.

En cuanto al autoabastecimiento total, España solo puede suplir el 20% de la energía primaria que necesita. Esto es preocupante, ya que convierte a España en un país con un elevado grado de dependencia exterior, además de ser muy consumidor y poco eficiente en la energía que consume.

¹ Desde 2011 rige la Decisión del Consejo de 10 de diciembre de 2010 relativa a las ayudas estatales destinadas a facilitar el cierre de minas de carbón no competitivas (2010/787/UE).

1.3.2 Consumo de energía primaria por tipo en España

A continuación se estudiará el consumo de los diferentes tipos de energía primaria para conocer mejor la situación energética de nuestro país.

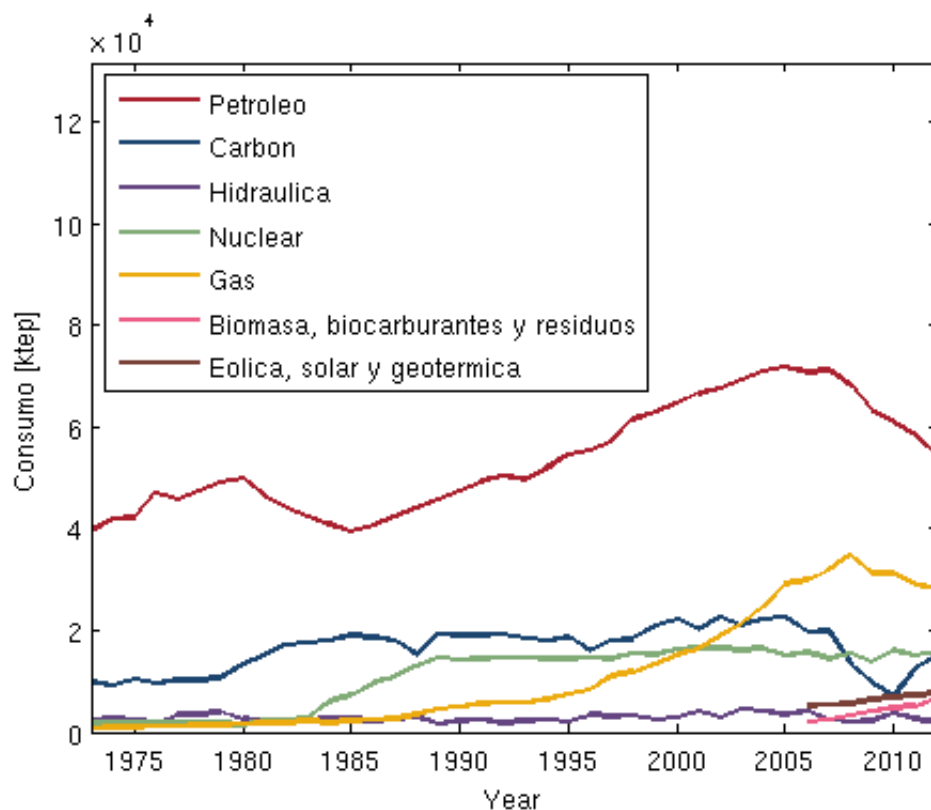


Figura 1.9: Consumo de energía primaria en España

Como se puede observar en el gráfico, la energía primaria que más consume España es el petróleo. Se puede apreciar que el consumo en la década de los 80 bajó, debido a la crisis del petróleo de 1973, pero una vez solventada esta crisis, el consumo siguió aumentando. A partir del 2008 volvió a descender el uso de esta energía como consecuencia de la crisis actual. Seguido del petróleo, la energía primaria más consumida a lo largo de este periodo ha sido el carbón, debido a las reservas que poseía España, pero al igual que el petróleo, su consumo ha disminuido, incluso mucho más, a causa de las políticas energéticas implantadas en 2011. En la actualidad, la segunda energía más consumida en la actualidad es el gas natural, manteniendo su consumo en valores constantes a pesar de la crisis. Se fue incrementando el uso de esta energía a partir de 1985, y en la actualidad tiene vital importancia en las centrales de ciclo combinado.

La energía nuclear fue implantada en España en los años 50, pero no fue hasta la década de los 90 cuando empezó a cobrar relevancia, a pesar de no haberse construido más desde esa fecha. Hoy en día, la nuclear sigue manteniendo el tercer puesto a pesar de la poca aceptación social por este tipo de energía. Además, tiene la peculiaridad de operar siempre en plena carga, debido al difícil control en la producción.

El consumo de energías renovables, sin incluir la hidráulica, han experimentado un aumento significativo en los últimos años. Para más detalle se presenta el siguiente gráfico que muestra la evolución en el consumo de estas energías desde el año 2006.

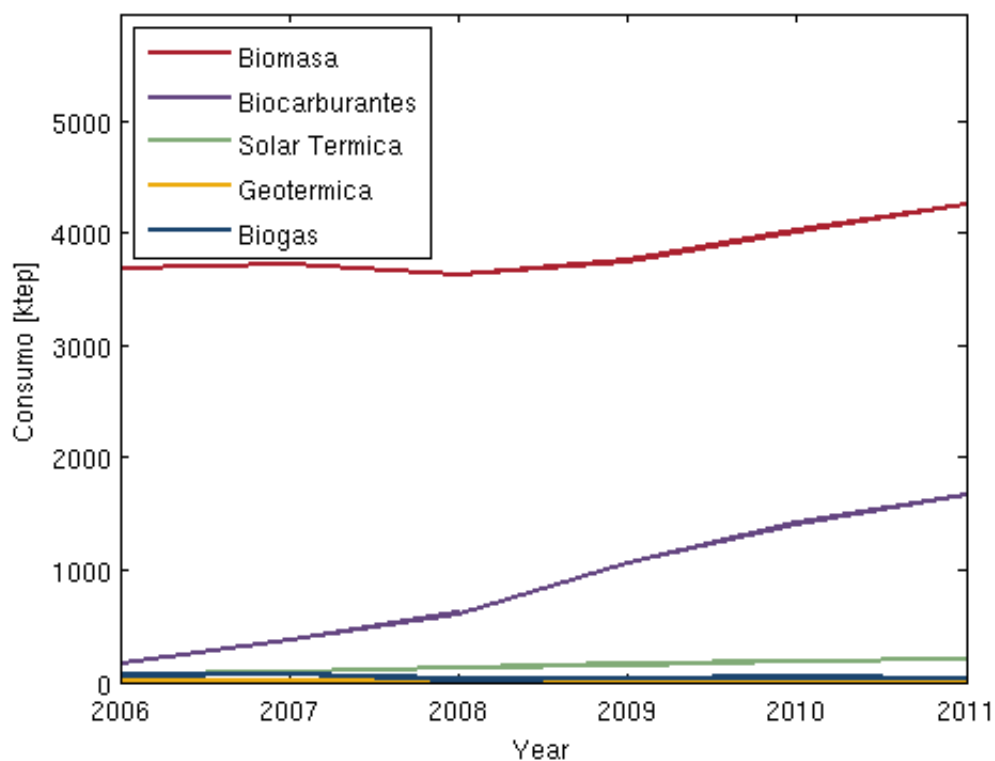


Figura 1.10: Consumo final de energía renovable en España

En este gráfico se aprecia que la energía renovable más consumida desde el 2005 es la biomasa con un ligero aumento en el consumo entre 2010 y 2012. El consumo de biocarburantes se incrementó a partir del 2008, creciendo de forma lineal desde ese año. Por otro lado, el consumo de solar térmica, geotérmica y biogás se mantiene constante, no presenta variaciones en el consumo desde 2005.

1.3.3 Producción de gases de efecto invernadero en España

Es interesante conocer la emisión de gases de efecto invernadero derivados del consumo de petróleo, carbón y gas natural, los tres tipos de energía primaria que generan gases de este tipo.

En la siguiente figura se muestra la evolución² en las emisiones de gases de efecto invernadero en España entre los años 1990 y 2012.

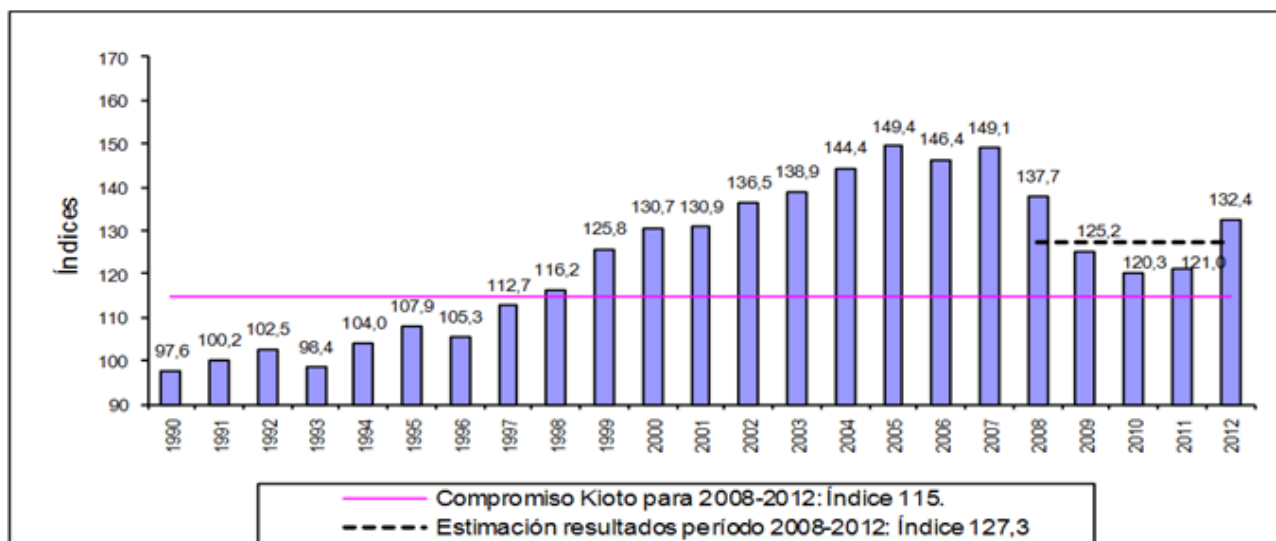


Figura 1.11: Evolución de los gases de efecto invernadero en España 1990-2012

Se puede observar en este gráfico como las variaciones de emisiones respecto al año base se mantienen constantes en los primeros años, con una disminución en el año 1993, provocada por la crisis del petróleo. A partir de 1998 ya se superaba el límite acordado para el período 2008-2012, incrementado las emisiones desde ese año hasta valores que superaban 149,4 millones de toneladas de CO₂ respecto a la cantidad asignada en 1990.

Afortunadamente, las emisiones disminuyeron en los años posteriores, debido, fundamentalmente, a la crisis económica que afecta a nuestro país, pero no se alcanzó la cantidad acordada para el período 2008-2012, llegando a superar en 2012, 132,4 millones de toneladas más de CO₂ a las estipuladas.

² La cifra exacta del año base tomada para el cálculo de la cantidad asignada fue de 289.773.205,032 toneladas de CO₂-eq; y la cantidad asignada para el compromiso del cumplimiento del Protocolo de Kioto en el periodo 2008- 2012 es de 1.666.195.929 toneladas de CO₂ -eq.

España es el quinto país que peor ha cumplido los objetivos del Protocolo de Kioto para el periodo 2008-2012. Estos resultados demuestran la gran dependencia que posee España por el consumo de energía primaria procedente de combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas natural. Además, sumamos otro problema al que está expuesto España: la contaminación. Si España no se concientia del problema que supone emitir gases de efecto invernadero, en el futuro, tendrá serios problemas económicos derivado del incumplimiento del Protocolo de Kioto.

1.3.4 Consumo de energía final en España

A continuación se analizará la energía final consumida en nuestro país. La energía final hace referencia a la energía utilizada por el consumidor.

En este gráfico se muestra la evolución de la demanda de energía final en España dividida en productos petrolíferos, electricidad, carbón y gas.

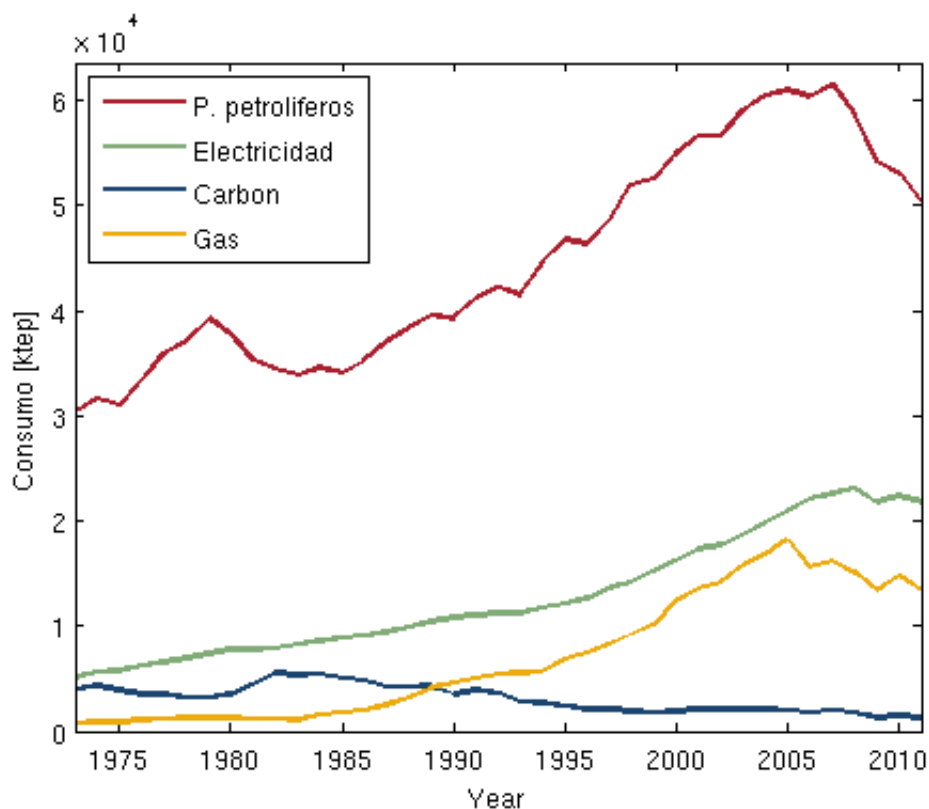


Figura 1.12: Consumo de energía final en España

La forma de energía más consumida en el periodo comprendido entre 1973 y 2011 ha sido el petróleo. Al igual que en el consumo de energía primaria, el consumo de p. petrolíferos aumenta hasta 1980 y baja a partir de

ese año debido a la crisis mundial del petróleo. Cuando se solventa esta crisis, el consumo de esta fuente de energía mantiene su crecimiento hasta 2008, donde se puede observar un pico en el consumo. A partir de ese año el consumo disminuye como consecuencia de la crisis, como ya se ha recalcado anteriormente.

La siguiente forma de energía más consumida con un crecimiento constante a lo largo del período es la electricidad. Este crecimiento constante se debe a un aumento de la población, y sobre todo, a una mejora de la calidad de vida. Se puede observar que a partir de la crisis el consumo se mantiene constante.

El consumo de carbón en los años 70 y 80 era la tercera forma de energía más consumida, pero desde 1980 el consumo de gas lo supera. Desde ese año el consumo en forma de gas se incrementa y el consumo en forma de carbón disminuye considerablemente. Al igual que ocurre con los productos petrolíferos, el consumo en forma de gas baja al estallar la crisis en 2008.

1.3.5 Consumo de energía final por sectores en España

Es interesante conocer como se distribuye la energía final por sectores en España ya que es la utilizada directamente por el consumidor, para ello se presenta el siguiente gráfico que muestra el porcentaje de energía final en sectores como Industria, Transporte, Servicios públicos, Edificación y Agricultura.

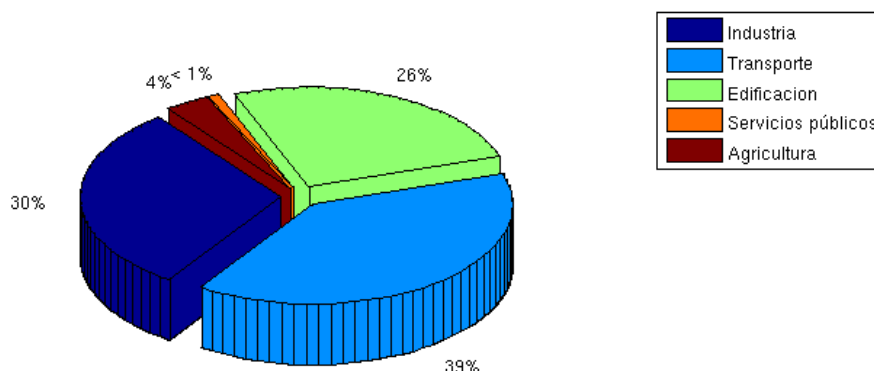


Figura 1.13: Consumo de energía final por sectores

Se puede observar que donde más se consume energía es en el sector del transporte, Seguido de este sector se encuentra la industria, en la cual se consume un 30,20% de la energía total. Como tercer sector más consumidor en España se encuentra la edificación, donde se consumieron en 2011 unos 24391,7 Ktep, un 26,11% del total de la energía final. Estos resultados muestran que el consumo de energía en España se encuentra dividido principalmente entre tres sectores: industria, transporte y edificación.

1.3.6 Consumo de energía en el sector de la edificación.

Las instalaciones térmicas (calefacción y producción de agua caliente sanitaria) y eléctricas (iluminación y alimentación de equipos eléctricos) son las dos instalaciones fijas que comprende el sector de la edificación. El sector de la edificación se compone del sector Doméstico y el sector de Servicios continuación se muestra la evolución en el consumo energético en el sector *Doméstico y Servicios*.

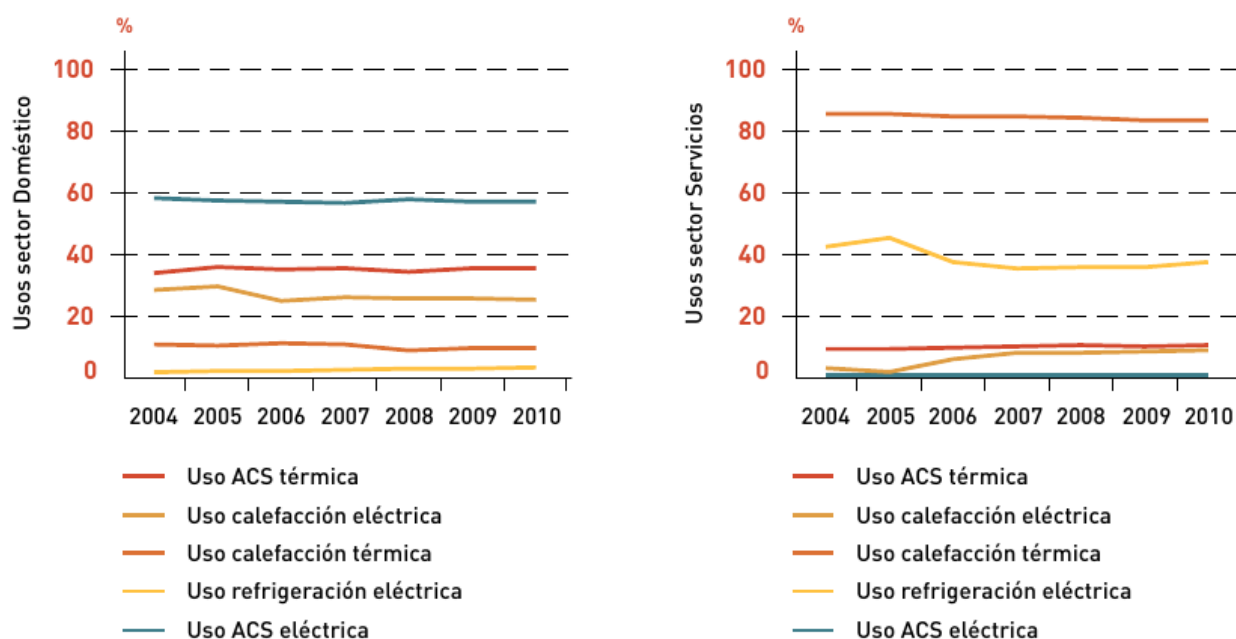


Figura 1.14: Distribución del consumo eléctrico en una vivienda

Es interesante contrastar estos dos sectores para comparar la tendencia eléctrica o térmica en cada caso. En el caso Doméstico el consumo de calefacción térmica y eléctrica ha disminuido durante el periodo 2004-2010, sin embargo, en el sector de servicios el consumo de calefacción eléctrica ha incrementado en los últimos años.

El consumo de refrigeración en los hogares ha aumentado mucho durante este periodo a diferencia del sector Servicios que su consumo ha disminuido notablemente desde 2005 debido principalmente a una mejora en las instalaciones. Finalmente el consumo de agua sanitaria caliente eléctrica y térmica ha incrementado tanto en el sector Doméstico como en el de Servicios.

Debido a continuo crecimiento de consumo de energía en el sector edificación y debido a que las expectativas futuras se basan conseguir que toda la energía consumida en los edificios construidos a partir del 31 de diciembre de 2020 sea energía renovable, es importante mejorar y buscar alternativas de producción de energía en este sector.

A continuación se muestra la distribución en el consumo energético unitario en una vivienda.

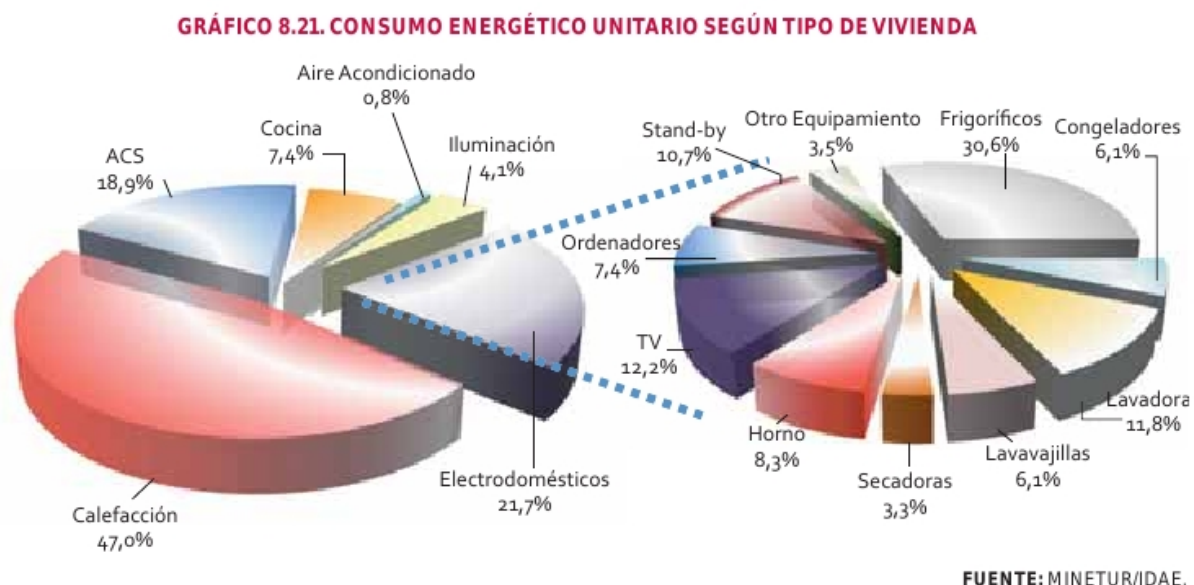


Figura 1.15: Consumo energético unitario según tipo de vivienda

En este gráfico destaca la demanda de calefacción en la vivienda que llega casi al 50% del consumo total energético. El siguiente campo donde más se demanda el uso de energía, es en los electrodomésticos (21,7% del total), como frigorífico, TV, horno... Seguido de este, se encuentran el agua caliente sanitaria (18,9%), cocina (7,4%), iluminación (4,1%) y aire acondicionado (0,8%).

1.4 CONCLUSIÓN

Como conclusión a la situación energética de España se puede decir que es crítica. Por tanto, es más que justificable invertir en nuevas tecnologías para abastecer la demanda energética española, además de realizar diseños de instalaciones renovables en el uso doméstico. Por ello se propone incorporar en el la vivienda española tecnologías más eficientes y renovables por medio de un estudio detallado del consumo de la demanda. Este estudio se presenta en los siguientes capítulos del proyecto.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE CARGAS TÉRMICAS DE UNA VIVIENDA

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE CARGAS TÉRMICAS DE UNA VIVIENDA

Se sabe desde el estudio de la termodinámica que la energía se transfiere mediante la interacción de un sistema con su entorno. La energía transferida entre dos estados puede darse en forma de calor o trabajo. Pues bien, se conoce como transferencia de calor a la energía que se transfiere en forma de calor.

Los equipos de transferencia de calor, como los intercambiadores de calor, las calderas, los condensadores, los radiadores, los hornos, las neveras, colectores solares, etc., están diseñados en base a los conocimientos de transferencia de calor. Los diferentes procesos de transferencia de calor que se van a estudiar son *conducción*, *convección* y *radiación*. El estudio de estos tres modos de transferencia de calor es indispensable para determinar la carga térmica de una vivienda.

2.1. CONDUCCIÓN

Este mecanismo físico se explica como la transferencia de energía de las partículas más energéticas hacia las menos energéticas. Desde el punto de vista de transferencia de calor, las partículas energéticas se asocian con temperaturas más altas y las de menos energía con temperaturas más bajas. Por tanto la transferencia por conducción se tiene que dar en dirección de temperatura decreciente. Este fenómeno puede darse en sólidos, por medio de combinación de *vibraciones* de las moléculas y al transporte de energía por parte de los *electrones*, y en los líquidos y gases, debido a las *colisiones* y a la *difusión* de las moléculas durante su movimiento.

Es posible cuantificar la transferencia de calor por conducción gracias a la ley de *Fourier* expresada como,

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad [W/m^2] \quad (2.1)$$

El flujo de calor, q''_x , es el calor transferido en la dirección x por unidad de área perpendicular a la dirección de transferencia, siendo este proporcional al gradiente de temperaturas, dT/dx en esa dirección. El parámetro k es la conductividad térmica [W/mK] y se define como *razón de transferencia de*

calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura; es un parámetro conocido y depende del tipo de material.

La razón de conducción de calor a través de la pared se expresa como,

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W] \quad (2.2)$$

En la siguiente figura se muestra la conducción de calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A ,

$$q_x = -kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (2.3)$$

También se puede expresar el calor por medio de su resistencia térmica,

$$q_x = \frac{T_1 - T_2}{R_{cond}} \quad [W] \quad (2.4)$$

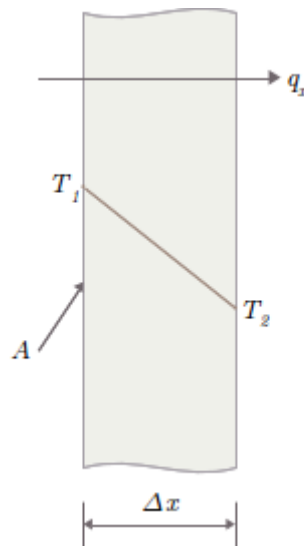


Figura 2.1: Conducción a través de la pared

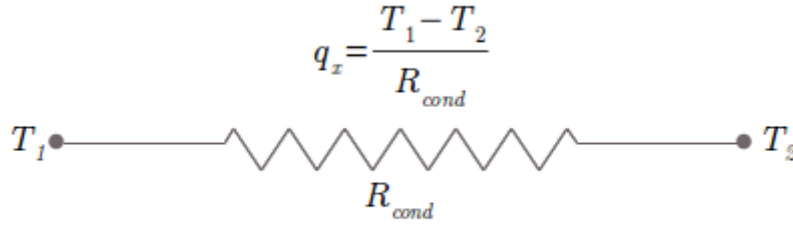


Figura 2.2: Resistencia térmica de conducción.

Donde la resistencia térmica por conducción tiene la siguiente expresión,

$$R_{cond} = \frac{e}{kA} \quad [K/W] \quad (2.5)$$

Siendo e es el espesor de la pared y k la conductividad térmica del material y A el área transversal.

Para este estudio es interesante mencionar la ecuación de calor en una pared plana grande. Si se considera que el parámetro k es constante para cada material, se presentan tres casos dependiendo de la *difusividad térmica* α que representa la rapidez con que se propaga el calor a través del material.

— Régimen estacionario:

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{\dot{e}_{gen}}{k} = 0 \quad (2.6)$$

— Régimen transitorio, sin generación de calor:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.7)$$

— Régimen estacionario sin generación de calor:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad (2.8)$$

2.2. CONVECCIÓN

La convección es el modo de transferencia de calor que se da entre una superficie sólida y un líquido o gas en movimiento, dando lugar a una combinación de dos efectos: *conducción* y *movimiento de fluidos*.

El proceso de convección puede clasificarse acorde a la naturaleza del flujo. Se habla de convección forzada cuando el flujo es debido a causas externas, como un ventilador, bomba, o viento atmosférico. O bien, se puede dar el caso de convección natural (libre), donde el flujo es inducido por fuerzas de empuje, las cuales surgen a partir de cambios en la densidad del fluido provocado por la variación de temperaturas.

El flujo de calor debido a este proceso puede calcularse por medio de la ley de enfriamiento de *Newton*,

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad [W/m^2] \quad (2.9)$$

donde q'' , el flujo de calor por convección $[W/m^2]$, es proporcional a la diferencia de temperaturas entre la superficie (T_s) y el fluido (T_∞), y al coeficiente de transferencia de calor por convección, h $[W/m^2K]$. Este parámetro se determina de forma experimental y depende de la geometría de la superficie, de la naturaleza del fluido y de otras propiedades de transporte y termodinámicas del fluido.

El flujo de convección es positivo si la transferencia de calor se da desde la superficie ($T_s > T_\infty$) y negativo si es hacia la superficie ($T_s < T_\infty$).

El calor por convección si la superficie tiene un área A es por tanto,

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad [W] \quad (2.10)$$

También se puede expresar el calor por convección por medio de *resistencias térmicas* (el concepto de *resistencia térmica* se expresa más adelante),

$$q = \frac{T_s - T_\infty}{R_{conv}} \quad [W] \quad (2.11)$$

Donde la resistencia de convección se define como,

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} \quad [K/W] \quad (2.12)$$

La combinación de resistencias térmicas de conducción y convección a través de una superficie plana se interpretan de la siguiente manera,

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cond} + R_{conv,2} = \frac{1}{h_1A} + \frac{e}{kA} + \frac{1}{h_2A} \quad [k/W] \quad (2.13)$$

y gráficamente,

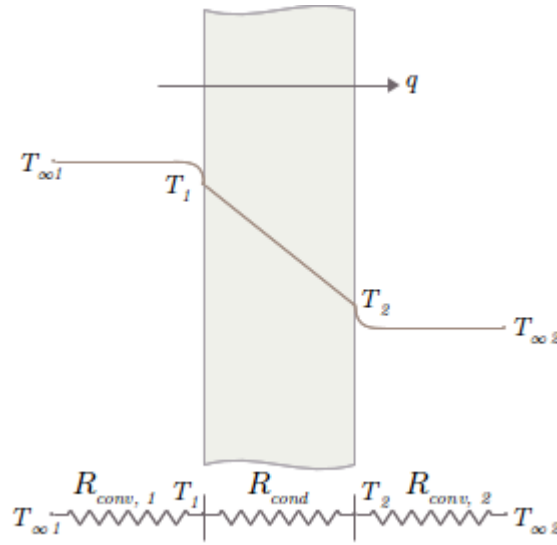


Figura 2.3 Resistencias térmicas a través de una pared plana.

además,

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{conv,1}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{cond}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{conv,2}} \quad [W] \quad (2.14)$$

2.3 RADIACIÓN

Este es el tercer modo de transferencia de calor. Todas las superficies con una temperatura superior a 0 grados Kelvin emiten energía en forma de *ondas electromagnéticas*³ (o *fotones*) debido a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. La radiación no precisa de un medio para darse, a diferencia de la *conducción* y *convección* que sí lo requieren. De hecho, la radiación es más eficiente en el vacío, ya que no sufre atenuación.

La ley que recoge este fenómeno es la ley de *Stefan-Boltzmann*, expresada como,

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad [W/m^2] \quad (2.15)$$

donde T_s es la temperatura absoluta [K] de la superficie y σ la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} [W/m^2 K^4]$).

El flujo emitido por una superficie real es menor que la que emite el cuerpo negro a la misma temperatura, viene dado por la expresión

$$E = \sigma T_s^4 \quad [W/m^2] \quad (2.16)$$

donde ε es la emisividad, que es una medida de eficiencia que relaciona cuanta energía emite una superficie en relación con la que emitiría un cuerpo negro.

Se debe introducir el término irradiación, que es aquella radiación incidente sobre una superficie desde todas direcciones. La irradiación puede proceder de una lámpara, un panel radiante, el Sol, etc.

Se denota con la letra G y sus unidades son $[W/m^2]$. No toda la irradiación que llega a la superficie de un cuerpo es absorbida, parte se refleja. La cantidad de energía radiante que absorbe una superficie por unidad de área viene determinada por la absorptividad, α .

$$G_{ab} = \alpha G \quad [W/m^2] \quad (2.17)$$

³ Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia ν o su longitud de onda λ en un medio determinado y se relacionan por $\lambda=c/\nu$, donde c es la velocidad de propagación de una onda en ese medio.

Para un valor de α , $0 < \alpha < 1$. Si $\alpha < 1$, significa que una porción de energía es absorbida y otra es reflejada o transmitida. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación que le llega, lo cual significa que $\alpha = 1$. El parámetro α depende de la naturaleza de la irradiación y de la superficie a la que llega la misma.

La radiación intercambiada por una superficie y los alrededores se define como,

$$q''_{rad} = \varepsilon E_b T_s - \alpha G \quad [W/m^2] \quad (2.18)$$

Si la superficie es una superficie gris difusa ($\alpha = \varepsilon$), la radiación neta intercambiada se define como,

$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [W/m^2] \quad (2.19)$$

Puede darse el caso que se den varios modos de transferencia de calor, sin embargo, en la mayoría de los casos, la *radiación* suele ser despreciable cuando las temperaturas cuentan con valores bajos o moderados.

2.3.1 Radiación atmosférica y solar

Para nuestro estudio es imprescindible hablar de la radiación procedente del Sol, energía solar, y de la radiación atmosférica, energía de radiación que es emitida o reflejada por los constituyentes de la atmósfera.

La energía solar que llega a la atmósfera se denomina *irradiancia solar*⁴ o *constante solar* de valor variable a lo largo del año por la diferente distancia entre el Sol y la Tierra. Parte de la radiación solar que entra en la atmósfera terrestre es dispersada y absorbida por las moléculas del aire, de vapor de agua, partículas de polvo, etc., como consecuencia la radiación solar que llega a la superficie terrestre es menor que la constante solar. La radiación solar que llega a una superficie consta de tres componentes: radiación *directa*, radiación *difusa* y radiación *reflejada*. En la siguiente figura se muestran esas tres componentes que inciden sobre una ventana,

⁴ Representa la tasa a la cual la energía solar incide sobre una superficie perpendicular a los rayos del Sol en el borde exterior de la atmósfera, cuando la Tierra se encuentra a su distancia media del Sol.

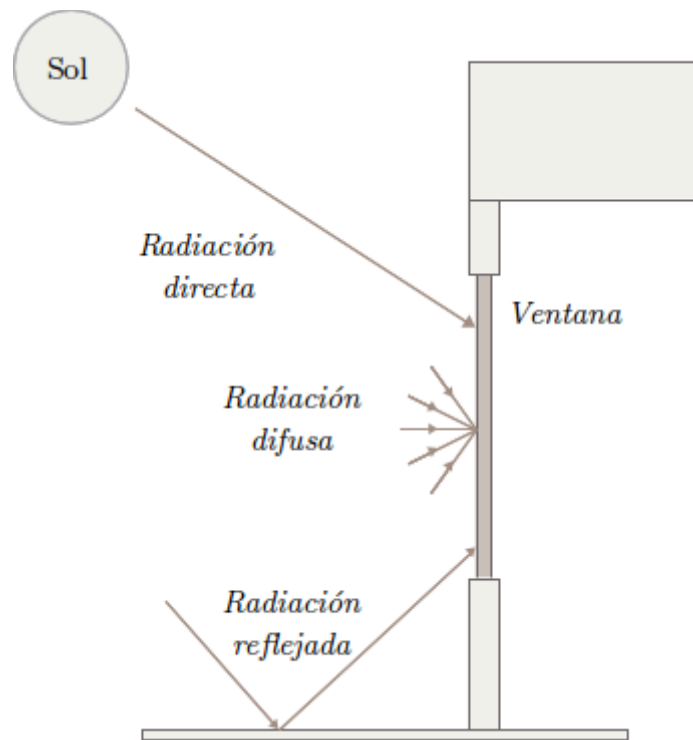


Figura 2.4: Componente directa, difusa y reflejada de la radiación solar que incide sobre una ventana.

2.3.2 Radiación solar en planos distintos al horizontal

En este apartado se explica cómo se calcula la radiación que llega a una superficie que se encuentra en un plano distinto al horizontal. Para ello hay que realizar una pequeña introducción para el dominio de los ángulos que intervienen en el problema.

ÁNGULOS ASOCIADOS A LA SUPERFICIE

Ángulo de inclinación de la superficie (β)

Ángulo formado por el plano de la superficie a estudiar y la horizontal.

Ángulo azimutal de la superficies (g)

Ángulo formado por la proyección de la normal al plano de la superficie en cuestión sobre el plano horizontal con el sentido Sur en el hemisferio Norte y con el sentido Norte en el hemisferio Sur. Dependiendo en qué dirección esté orientada la superficie, g tomará los siguientes valores.

En el hemisferio Norte

Orientación sur $g=0^\circ$

Orientación norte $g=180^\circ$

Orientación oeste $g=90^\circ$

Orientación este $g=-90^\circ$

ÁNGULO ASOCIADO A LA POSICIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

Latitud (λ)

Ángulo formado por el radio terrestre en la posición considerada y plano ecuatorial. Se considera positiva la latitud Norte y negativa la latitud Sur ($-90^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$).

ÁNGULO ASOCIADO AL MOVIMIENTO DE TRANSLACIÓN DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL

Ángulo de declinación (δ)

Ángulo formado por la línea que une el Sol y la Tierra y el plano Ecuatorial. Se consideran declinaciones negativas las orientadas al Sur (invierno en el hemisferio Norte y verano en el hemisferio Sur) y positivas las orientadas al Norte (verano en el hemisferio Norte e invierno en el hemisferio Sur) ($-23,45^\circ \leq \lambda \leq 23,45^\circ$).

La declinación mantiene una relación senoidal con el ángulo ψ recorrido por el Sol en su movimiento de translación tomando como origen del movimiento el equinoccio de primavera. Si se toma como origen el 1 de enero hay que realizar el cambio $\psi = [284 + N] \cdot 360/365$, donde N es el número de día del año, por tanto la expresión para calcular la declinación es la siguiente,

$$\delta = 23,45 \sin \psi_s = 23,45 \sin([284 + N]360/365) \quad [^\circ] \quad (2.20)$$

Ángulo horario (ω)

Desplazamiento angular respecto a la dirección Sur de la proyección de la radiación solar directa sobre el plano ecuatorial. Como la Tierra gira a razón de 360° en 24 horas, la hora solar y el ángulo horario se relacionan según la ecuación,

$$\omega = 15(h - 12) \text{ [}^\circ\text{]} \quad (2.21)$$

de modo que el ángulo horario vale 0 a las 12 horas solares, tomando valores negativos por la tarde y positivos por la mañana.

Ángulo solar (α_s)

Ángulo formado por el haz solar y la horizontal.

Ángulo cenital (θ_z)

Ángulo formado por el haz solar y la vertical.

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \lambda + \sin \delta \sin \lambda \cos \omega \text{ [}^\circ\text{]} \quad (2.22)$$

Ángulo azimutal solar (ϕ)

Desplazamiento angular respecto a la dirección Sur de la proyección del haz solar sobre el plano horizontal. Se consideran los desplazamiento hacia el Oeste positivos y hacia el Este negativos ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$).

Su valor depende de la latitud, la declinación, el ángulo cenital y el ángulo horario,

$$\phi = C_1 C_2 \phi' + 90 C_3 (1 + C_1 + C_2) \text{ [}^\circ\text{]} \quad (2.23)$$

Donde ϕ' es el ángulo azimutal solar virtual de referencia, que en general no coincide con el ángulo azimutal solar, ϕ ,

$$\sin \phi' = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \text{ [}^\circ\text{]} \quad (2.24)$$

Las constantes C_1 , C_2 y C_3 se calculan de la siguiente forma,

$$Si \delta > 0$$

$$C_1 = 1 si |\omega| \leq \omega_{EO} \quad (2.25)$$

$$C_1 = -1 si |\omega| > \omega_{EO}$$

$$Si \delta < 0$$

$$C_1 = 1 si \omega > \omega_{EO} \quad (2.26)$$

$$C_1 = -1 si \omega \leq \omega_{EO}$$

donde ω_{EO} es el ángulo horario de referencia, que se corresponde con el ángulo azimutal solar virtual, ϕ' . Éste depende de la declinación y de la latitud.

$$\cos \omega_{EO} = \begin{cases} 1 si \delta = 0 \\ \tan \delta / \tan \lambda si (\delta - \lambda) \geq 0 \\ \frac{\tan(\delta+90)}{\lambda+90} si (\delta - \lambda) < 0 \end{cases} \quad (2.27)$$

$$C_2 = 1 si (\lambda - \delta) \geq 0$$

$$C_2 = -1 si (\lambda - \delta) < 0 \quad (2.28)$$

$$C_3 = 1 si \omega \geq 0$$

$$C_3 = -1 si \omega < 0 \quad (2.29)$$

Ángulo de incidencia (θ)

Ángulo que forma el haz solar con la normal al plano de la superficie.

La expresión que relaciona el ángulo de incidencia con los ángulos de declinación, latitud, inclinación y azimutal de la superficie es la siguiente,

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta (\sin \delta \cos \beta - \cos \lambda \sin \beta \cos g) + \\ & \cos \delta \cos \omega (\cos \lambda \cos \beta + \sin \lambda \sin \beta \cos g) + \\ & \cos \delta \sin \beta \sin g \sin \omega \quad [^\circ] \end{aligned} \quad (2.30)$$

Ángulo de salida y puesta de sol (ω_s)

Desplazamiento angular respecto a la dirección Sur de la proyección del haz solar sobre el plano ecuatorial a la salida y puesta de Sol. El criterio de signos es igual que el del ángulo horario. Para calcular ω_s basta igualar a $\pi/2$ el ángulo cenital, ecuación (2.22).

2.3.3 Desdoblamiento de la radiación horizontal: directa y difusa

A continuación se va a explicar el método para desdoblar la radiación total en directa y difusa en el plano horizontal.

Para el cálculo de estas radiaciones hay que partir de datos de radiación global para la zona geográfica dónde se quiere calcular, en este caso Madrid. Por ello se disponen de datos promedio de la radiación global de Madrid.

Radiación difusa

Para el cálculo de esta radiación hay que introducir el concepto de transparencia atmosférica que se define como el índice de radiación total, I , frente a la radiación extraterrestre, I_o .

La radiación extraterrestre se calcula con la expresión que se muestra a continuación,

$$I_o = \frac{G_s}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360N}{365} \right) \left(\cos \lambda \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \lambda \sin \delta \right) \quad (2.31)$$

Donde G_s es la constante solar, N el número de día del año, δ la declinación, λ la latitud y ω_s el ángulo de salida y puesta de sol.

Una vez calculada la radiación extraterrestre, la transparencia atmosférica se expresa como,

$$K_T = \frac{I}{I_o} \quad (2.32)$$

La radiación solar difusa (I_d) puede determinarse a partir de la total (I) conocido el índice de transparencia atmosférica (K_T) por medio de la correlación,

$$I_d = I \begin{cases} 0,99 \text{ para } K_T \geq 0 \\ 1,88 - 2,27K_T + 9,473K_T^2 - 21,865K_T^3 + 14,648K_T^4 \text{ para } 0,17 < K_T < 0,75 \\ -0,54K_T + 0,632 \text{ para } 0,75 < K_T < 0,8 \\ 0,2 \text{ para } K_T \leq 0,8 \end{cases} \quad (2.33)$$

2.3.4 Cálculo de la radiación horaria total sobre superficie inclinada (I_t)

La radiación sobre un plano distinto al horizontal se calcula con la siguiente expresión,

$$I_t = (I - I_d) \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + I_d \frac{1 + \cos \beta}{2} + \epsilon I \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad [W/m^2] \quad (2.34)$$

Donde ϵ es el coeficiente de albedo ($\epsilon \sim 0,2$). Los demás parámetros están definidos a lo largo de este apartado.

2.4 Psicrometría

En este capítulo se debe realizar una pequeña introducción de *psicrometría* que corresponde con la ciencia que se dedica al estudio de sistemas constituidos por aire y agua. Este apartado tiene gran interés para el cálculo de carga latente.

Aire seco y aire atmosférico

El aire en la atmósfera contiene cierta cantidad de vapor de agua, lo que denominamos aire atmosférico. Por otro lado, el aire que no contiene vapor de agua se le conoce como aire seco. Es importante tratar al aire como una mezcla de vapor de agua y aire seco, ya que, a pesar de que la cantidad de vapor de agua en el aire es pequeña juega un papel en la comodidad del ser humano, por ello es importante tenerlo en cuenta en los dispositivos de acondicionamiento de aire.

Para facilitar el estudio de la mezcla es conveniente tratar al vapor de agua en el aire como una gas ideal (presiones por debajo de 12,3 [kPa]). Por lo tanto, el vapor de agua en el aire cumple la relación de gas ideal $pV=RT$ [Pa] . En este caso, el aire atmosférico se trata como una mezcla de gases ideales cuya presión es la suma de la presión parcial del aire seco P_a y la de vapor de agua P_v (presión de vapor),

$$p = p_a + p_v \text{ [Pa]} \quad (2.35)$$

Relación de humedades y humedad relativa del aire

La *relación de humedades* se define como el cociente entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco contenidos en la mezcla,

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \text{ [kg vapor de agua / kg aire seco]} \quad (2.36)$$

Aplicando la ecuación de estado de gas ideal tanto al vapor como al aire seco, también se puede expresar como,

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{p_v V / R_v T}{p_a V / R_a T} = \frac{p_v / R_v}{p_a / R_a} = 0,622 \frac{p_v}{p_a} = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} \quad (2.37)$$

La cantidad de humedad en el aire tiene un efecto en las condiciones de comodidad del ambiente. El parámetro que relaciona la cantidad de humedad que contiene el aire (m_v) respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura (m_g) se denomina humedad relativa, ϕ .

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{p_v V / R_v T}{p_g V / R_g T} = \frac{p_v}{p_g} \quad (2.38)$$

Para el cálculo de las presiones de saturación del vapor (p_g) se aplica la ecuación de Clayperon,

$$\left(\frac{dp}{dT} \right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{TV_{fg}} \quad (2.39)$$

Asumiendo algunas aproximaciones como que a bajas presiones $V_g \gg V_f$, por lo que $V_{fg} \cong V_g$ y además se considera el vapor como gas ideal, se tiene

$$\left(\frac{dp}{dT}\right)_{sat} = \frac{ph_{fg}}{RT^2} \quad (2.40)$$

o bien,

$$\left(\frac{dP}{p}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{R} \frac{dT}{T^2} \quad (2.41)$$

Como h_{fg} a intervalos pequeños de temperatura puede considerarse constante, entonces al integrar la expresión (2-38) se obtiene,

$$\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)_{sat} \quad (2.42)$$

Si fijamos la temperatura de saturación T_i a la presión de saturación de 1 [atm], la expresión se simplifica a,

$$p_v(T) = \exp\left(\frac{h_{fg}}{R} \left(\frac{1}{373} - \frac{1}{T_v}\right)\right) [Pa] \quad (2.43)$$

Sustituyendo R y h_{fg} por su valor se tiene,

$$p_v(T[K]) = 2,368745 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5406,1915}{T_v[K]}\right) [Pa] \quad (2.44)$$

2.5 CARGA TÉRMICA

Para acondicionar la vivienda de la mejor forma posible es necesario realizar un estudio de la carga térmica (potencia, ya sea de *refrigeración* o *calefacción*, demandada por la instalación para mantener las condiciones térmicas de confort en el interior). Para comenzar es necesario dividir la carga térmica en dos, carga térmica *sensible* y carga térmica *latente*. La carga térmica *sensible* es cualquier fenómeno que tiende a modificar la temperatura en un local, mientras la carga *latente* es la relacionada con la variación de humedad del mismo.

La carga térmica para climatización se puede clasificar en dos: carga térmica de *calefacción* y carga térmica de *refrigeración*. A su esta clasificación se subdivide en varias, las cuales se presentan en el siguiente esquema,

Carga térmica de **calefacción**:

- De transmisión
- De ventilación e infiltraciones

Carga térmica de **refrigeración**:

- De transmisión
- De ventilación e infiltraciones
- De radiación
- Interna

El modelo que se va a seguir para calcular la carga térmica de transmisión, tanto de *calefacción* como de *refrigeración*, va a ser el modelo de resistencias térmicas. Las paredes de la vivienda se interpretan como resistencias a la *conducción* y *convección*. Para ello se va a considerar la transferencia de calor unidimensional en estado estacionario a través de paredes planas de diferentes materiales. Esta transferencia de calor dependerá de la temperatura exterior que se considera variable y la interior que se considera fija, en invierno 20 °C y en verano 25 °C.

A veces es conveniente expresar la transferencia de calor de forma análoga a la ley de enfriamiento de Newton,

$$\dot{Q} = UA\Delta T \quad [W] \quad (2.45)$$

Donde U es el coeficiente global de transferencia de calor y se expresa como,

$$U = \frac{1}{AR_{total}} \quad [W/m^2K] \quad (2.46)$$

Donde R_{total} es la resistencia total (2.13), es decir, la suma de resistencias de *conducción* (2.4) y *convección* (2.11).

El *modelo de resistencias térmicas* no necesita conocer las temperaturas

superficiales de la pared para evaluar la transferencia de calor través de la misma.

2.5.1 Tipos de cargas térmicas

2.5.1.1 Carga térmica de Transmisión

La carga de *transmisión* es aquella carga *sensible* que se transmite por *conducción* a través de los cerramientos de la vivienda. Para determinar esta carga se aplicará el modelo de resistencias térmicas, para calcular el coeficiente global de transferencia de calor,

$$Q_{trans} = U_{muro} A (T_{inte} - T_{ext}) \quad [W] \quad (2.47)$$

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{conv,e} + \sum_j R_{cond,j} + R_{conv,i}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_e}} \quad [W/K] \quad (2.48)$$

Donde U_{muro} es el coeficiente global de transferencia de calor, h_i y h_e son los coeficiente de convección y e_j y k_j es el espesor y conductividad de la pared respectivamente. En la *Figura 2.3* se muestran las resistencias.

2.5.1.2. Carga térmica de Ventilación e Infiltraciones

La carga de ventilación es aquella carga que procede de la renovación del aire interior de una vivienda y la de infiltraciones es aquella que entra en la vivienda por los intersticios.

Se define como,

$$Q_{a-sen} = V_a \rho_a C_{p_a} (T_{int} - T_{ext}) \quad [W] \quad (2.49)$$

$$Q_{a-lan} = V_a \rho_a h_{fg-H_2O} (\omega_{int} - \omega_{ext}) \quad [W] \quad (2.50)$$

La ecuación número (2.49) define la carga de ventilación y la carga (2.50) la carga de infiltraciones.

2.5.1.3. Carga térmica de Radiación

La carga térmica de radiación se define como carga sensible que procede de la radiación solar que incide en las sobre las superficies acristaladas de la vivienda. Como se considera una ganancia para la carga de calefacción, no se considera en el estudio en ese estudio, sin embargo en refrigeración hay que tenerla en cuenta. La carga de radiación se define como,

$$Q_{rad} = \sum_{ori} I_{ori} A_{c_{ori}} f_c \quad [W] \quad (2.51)$$

Donde I_{ori} es la radiación en una orientación dada, $A_{c_{ori}}$ es el área acristalada en dicha orientación y f_c es el factor de corrección.

2.5.1.4. Carga térmica interna

Es la carga térmica que proviene del uso de la vivienda, ya sea por la utilización de electrodomésticos como de las propias personas que habitan en ella y la iluminación de la misma.

En el caso de la carga de ocupación, tiene un valor fijado según sea la carga térmica, *sensible* 60 W y *latente* 70 W por persona.

2.5.2 Método de cálculo de las CARGAS TÉRMICAS

Para realizar el cálculo de cargas térmicas de la vivienda se hará uso del Código Técnico de la Edificación (CTE). El método de cálculo se explica a continuación junto con los resultados obtenidos en el estudio.

2.5.2.1 Código técnico de la edificación

Para el estudio de la vivienda es necesario cumplir las exigencias del CTE en base a la localización geográfica del edificio. La zona dónde va a situarse la Casa Eficiente es Madrid, España, con lo cual, se deberán seguir las pautas que marca la zona climática D3. Los parámetros característicos que forman la envolvente térmica son los siguientes,

- Transmitancia térmica de muros de fachada U_M .
- Transmitancia térmica de cubiertas U_C .

- Transmitancia térmica de suelos U_S .
- Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno U_T .
- Transmitancia térmica de huecos U_H .
- Factor solar modificado de huecos F_H .
- Factor solar modificado de lucernarios F_L .
- Transmitancia térmica de medianerías U_{MD} .

Los valores límite se muestran en las siguientes tablas,

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos con el terreno	$U_{Mlim}=0,66$ [W/m ² K]
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}=0,49$ [W/m ² K]
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}=0,38$ [W/m ² K]
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}=0,28$

Tabla 2.1: Transmitancias muros, suelos, cubiertas y factor solar lucernarios

% de huecos	Transmitancia límite de huecos U_{Hlim} [W/m ² K]			
	N	E/O	S	SE/SO
De 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5
De 11 a 20	3	3,5	3,5	3,5
De 21 a 30	2,5	2,9 (3,3)	3,5	3,5
De 31 a 40	2,5	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)
De 41 a 50	2,1	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)
De 51 a 60	1,9	2,3(2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)

Tabla 2.2: Transmitancia huecos

% de huecos	Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	Baja carga interna			Alta carga interna		
	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
De 0 a 10	-	-	-	-	-	-
De 11 a 20	-	-	-	-	-	-
De 21 a 30	-	-	-	0,54	-	0,57
De 31 a 40	-	-	-	0,42	0,58	0,45
De 41 a 50	0,5	-	0,53	0,35	0,49	0,37
De 51 a 60	0,42	0,61	0,46	0,3	0,43	0,32

Tabla 2.3: Factor solar límite de huecos

2.5.2.2 Descripción y localización de la vivienda

Se pretende diseñar una vivienda eficiente unifamiliar que cumpla el código técnico de la zona donde se va a construir. A diferencia de muchos PFG, en este trabajo se parte de cero, es decir, se pretende diseñar una vivienda, ajustar las características de la misma a las exigencias del Código Técnico de la Edificación y diseñar las instalaciones de ACS, calefacción y refrigeración.

Esta vivienda se caracteriza por ser renovable debido a que las instalaciones se basan en fuentes de energía renovable. La instalación de agua caliente sanitaria (ACS) se sustentará por medio de colectores solares, para calefacción se hará uso de una caldera de biomasa y para la instalación de refrigeración se utilizará una bomba de calor alimentada con electricidad generada por medio de células fotovoltaicas.

Se pretende localizar esta vivienda en Madrid, como ya se ha comentado previamente. La composición del muro se muestran a continuación y el plano de la vivienda se encuentra en el *Anexo I* del proyecto.

2.5.2.3 Composición del muro exterior de la vivienda, característica de cada material y espesores

Interior ↓ Exterior	Composición	Material	Conductividad térmica [W/mK]	Espesor [mm]
	Ladrillo	Ladrillo ½ pie	0,09	140
	Aislante	Lana de vidrio	0,031	50
	Cámara de aire	-	0,024	40
	Fachada	Hormigón polímero	0,009	9

Tabla 2.4: Composición muro exterior, materiales, características y espesores

2.5.2.4 Composición del suelo de la vivienda, característica de cada material y espesores

	Composición	Conductividad térmica [W/mK]	Espesor [mm]
Interior	Madera	1,14	150
↓			
Exterior	Hormigón	1,63	250
	Piedra	2,33	250
	Arena	0,58	400

Tabla 2.5: Composición suelo, características y espesores

2.5.2.5 Composición del techo de la vivienda, característica de cada material y espesores

	Composición	Conductividad térmica [W/mK]	Espesor [mm]
Interior	Hormigón	1,16	50
↓			
Exterior	Bovedilla de hormigón	1,39	250
	Poliestireno expandido	0,033	80
	Yeso	0,02	20

Tabla 2.6: Composición cubierta, características y espesores

2.5.2.6 Método de cálculo de la transmitancia en muro, suelo y cubierta

MURO

$$U_{muro} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{lad}}{k_{lad}} + \frac{e_{ais}}{k_{ais}} + \frac{e_{hp}}{k_{hp}} + R_{se}} \quad [W/m^2K] \quad (2.52)7$$

Los valores de las resistencias R_{si} y R_{se} en el muro según el CTE son,

$$R_{si} = 0,13 \quad [W/m^2K]$$

$$R_{se} = 0,04 \quad [W/m^2K]$$

SUELO

$$U_{suelo} = \frac{1}{\frac{e_{are}}{k_{are}} + \frac{e_{pie}}{k_{pie}} + \frac{e_{hor}}{k_{hor}} + \frac{e_{mad}}{k_{mad}} + R_{si}} [W/m^2K] \quad (2.53)$$

El valor de R_{si} en el suelo es,

$$R_{si} = 0,13 [W/m^2K]$$

CUBIERTA

$$U_{cubierta} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{h.ar}}{k_{h.ar}} + \frac{e_{bov}}{k_{bov}} + \frac{e_{pol}}{k_{pol}} + \frac{e_{ye}}{k_{ye}} R_{se}} [W/m^2K] \quad (2.54)$$

Los valores de la resistencias R_{si} y R_{se} en la cubierta varían respecto a las del muro y sus valores son

Calefacción

$$R_{si} = 0,1 [W/m^2K]$$

$$R_{se} = 0,04 [W/m^2K]$$

Refrigeración

$$R_{si} = 0,17 [W/m^2K]$$

$$R_{se} = 0,04 [W/m^2K]$$

Los resultados de transmitancia obtenidos en cada caso son,

Calefacción

Transmitancia	[W/m²K]
U_{muro}	0,475
U_{suelo}	0,456
$U_{cubierta}$	0,350

Tabla 2.7: Transmitancia para calefacción

Refrigeración

Transmitancia	[W/m²K]
U_{muro}	0,475
U_{cubierta}	0,342

Tabla 2.8: Transmitancia para refrigeración

Se puede comprobar que los valores obtenidos tanto en la *Tabla 2.7* como en la *Tabla 2.8*, se encuentran por debajo del máximo permitido por el Código Técnico de la Edificación que se muestran en la *Tabla 2.1*.

CAPÍTULO 3
CÁLCULO DE CARGAS DE LA VIVIENDA RENOVABLE

CAPÍTULO 3

CÁLCULO DE CARGAS DE LA VIVIENDA RENOVABLE

En este capítulo se realiza el estudio de carga térmica de la vivienda. A continuación se presentan los resultados de carga térmica para *calefacción* y *refrigeración*. Finalmente, se presentarán los datos de la carga total de la vivienda en un año, los cuales servirán para poder diseñar las instalaciones térmicas con las que contará la vivienda renovable.

3.1 CARGA CALEFACCIÓN

3.1.1 Transmisión

Cerramiento

Esta carga ha sido calculada con la siguiente expresión,

$$Q_{muro_{cal}} = U_{muro_{cal}} A_{muro} \Delta T \quad [W] \quad (3.1)$$

donde,

$U_{muro_{cal}}$ = *Coeficiente global de transferencia de calor del muro*

A_{muro} = *Superficie del muro exterior*

$$\Delta T = T_{i_{cal}} - T_{ext} \quad (3.2)$$

En el caso de calefacción la temperatura interior será $T_{i_{cal}} = 20$ [°C] y T_{ext} es la temperatura ambiente en los meses de invierno. Por otro lado, el área de muro exterior tiene un valor de 84,02 [m²], y el valor de U_{muro} está recogido en la *Tabla 2.7* del Capítulo 2.

A continuación se muestra la gráfica de la carga térmica del muro exterior,

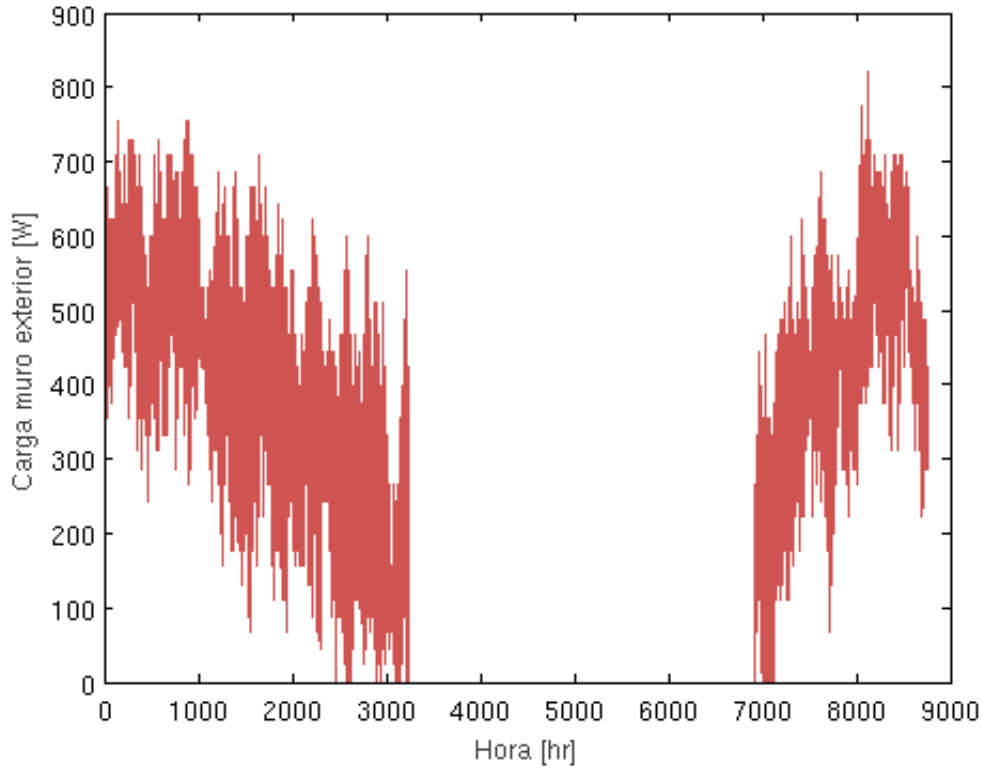


Figura 3.1: Carga térmica de transmisión en el cerramiento en calefacción

En esta gráfica se puede apreciar que la máxima carga térmica del muro exterior surge en los meses más fríos, como son enero, febrero, noviembre y diciembre, y según se acercan los meses de verano la carga se va reduciendo gradualmente debido al aumento global de la temperatura exterior.

Suelo

La carga térmica de suelo se calcula con la siguiente expresión,

$$Q_{suelocal} = U_{suelo} A_{suelo} \Delta T \quad [W] \quad (3.3)$$

donde,

U_{suelo} = Coeficiente global de transferencia de calor del suelo

A_{suelo} = Superficie habitable de la vivienda

$$\Delta T = T_{ical} - T_{terr} \quad (3.4)$$

La temperatura T_{ical} , igual que antes, corresponde con la temperatura seleccionada en el interior de una vivienda en invierno. La temperatura T_{terr} es la temperatura del terreno que se considera constante y de valor 10 [°C]. La superficie habitable con la que cuenta la vivienda es de 118 m² y el coeficiente global U_{suelo} está especificado en la *Tabla 2.7* del Capítulo 2.

Finalmente el valor de la carga térmica es constante y de valor,

$$Q_{suelo\ cal} = 269,19 \ [W]$$

Cubierta

También se debe considerar la carga térmica de la cubierta que se calcula con la siguiente expresión,

$$Q_{cubierta\ cal} = U_{cubierta\ cal} A_{cubierta} \Delta T \ [W] \quad (3.5)$$

donde,

$U_{cubierta\ cal}$ = Coeficiente global de transferencia de calor de la cubierta

$A_{cubierta}$ = Superficie de la cubierta

ΔT tiene la misma expresión que (3.2). El valor de $A_{cubierta} = 118 \text{ m}^2$ y el valor de $U_{cubierta\ cal}$ se encuentra en la *Tabla 2.7* del Capítulo 2.

Se muestra a continuación la gráfica obtenida para la carga de transmisión de la cubierta para cada hora del año,

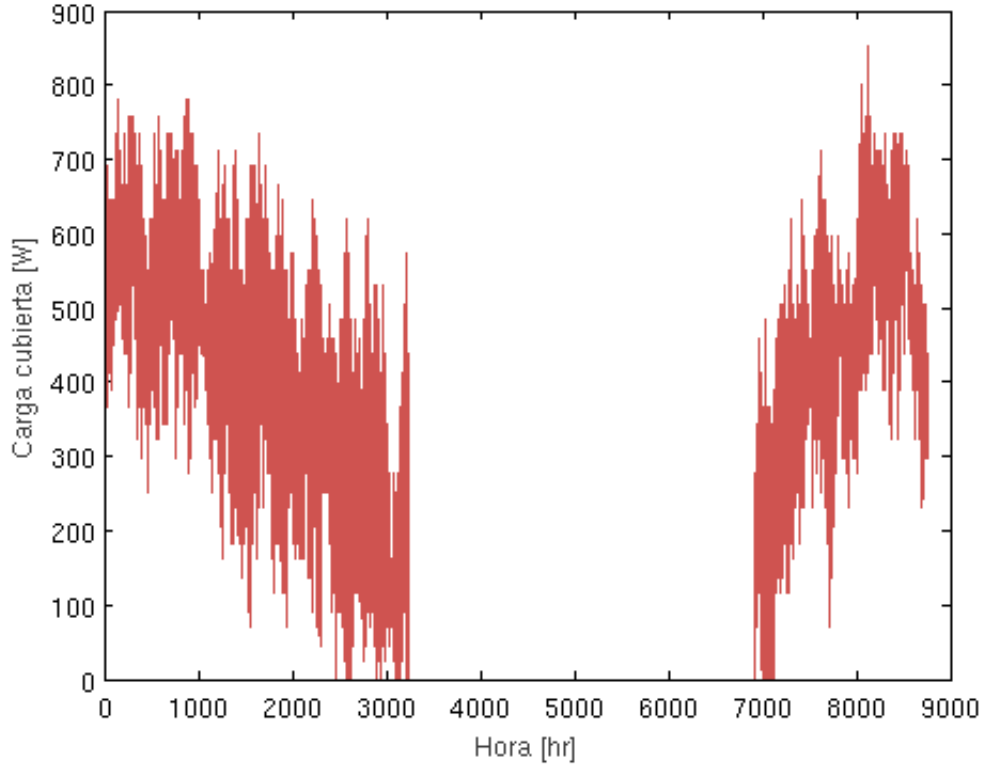


Figura 3.2: Carga térmica de transmisión en la cubierta en calefacción

En esta gráfica se llega a la misma conclusión que antes, es decir, para los meses más fríos la carga térmica es máxima y varía gradualmente con la proximidad de los meses de verano. El aspecto con la gráfica anterior es similar, pero en este caso se alcanza un valor de carga mayor que en el muro debido a que la superficie es mayor en este caso.

Ventanas

Para el cálculo de la carga térmica de transmisión en ventanas se hace uso de la misma expresión,

$$Q_{ventana_{cal}} = (U_{ventana}A_{ventana}) + U_{cristal}A_{cristal}\Delta T \quad [W] \quad (3.6)$$

donde,

$U_{ventana}$ = Coeficiente global de transferencia de calor de la ventana

$A_{ventana}$ = Superficie acristalada

ΔT tiene la misma expresión que (3.2). Respecto al área hay que considerar la superficie de ventanas, $A_{ventana} = 10,46 \text{ m}^2$, de la vivienda y la superficie acristalada, $A_{cristal} = 59,5 \text{ m}^2$ (ver Anexo I). En cuanto al valor de $U_{ventana}$ es proporcionado por el fabricante⁵ y de valor $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ y el del cristal ha sido calculado como,

$$U_{cristal} = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{cristal}}{k_{cristal}} + R_{se}} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (3.7)$$

Donde los valores de R_{si} y R_{se} son las resistencias interna y externa por convección en el muro, $e_{cristal}$ es el espesor del cristal y $k_{cristal}$ es el coeficiente de conductividad térmica del material. Se ha obtenido un valor para $U_{cristal} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$, la cual cumple las exigencias del Código Técnico de la Edificación.

La gráfica que se tiene para esta carga térmica de transmisión es,

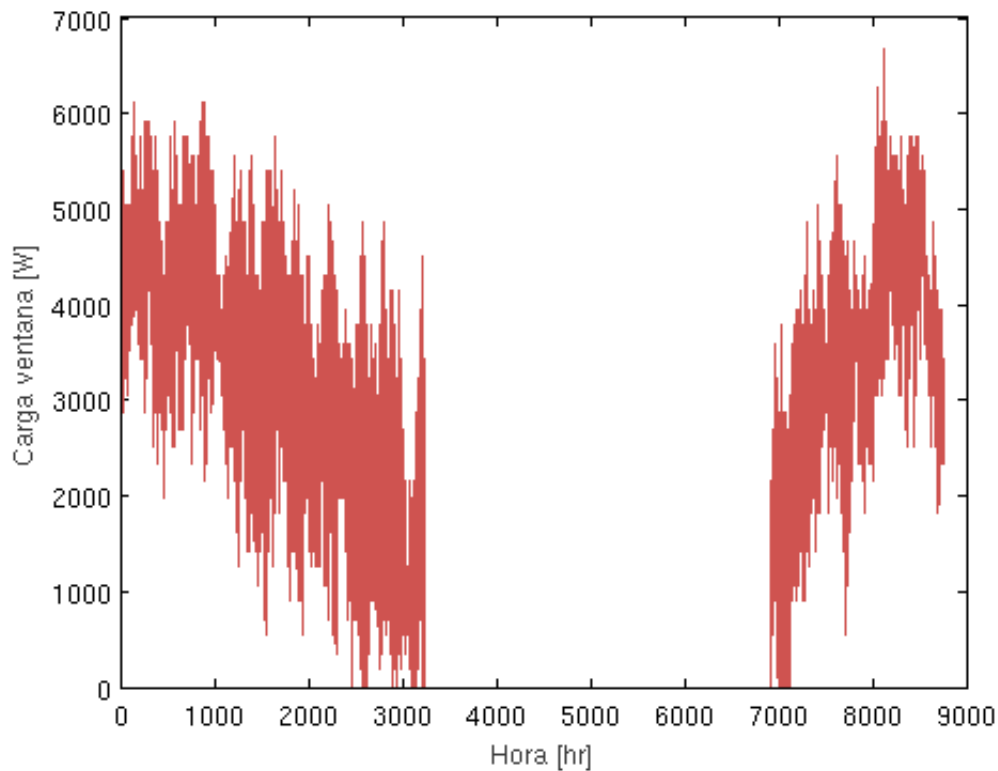


Figura 3.3: Carga térmica de transmisión en ventanas en calefacción

El valor de esta carga térmica es muy superior (el máximo valor es $6672,2 \text{ W}$) que en el caso de la carga de transmisión en muros debido

⁵ El fabricante de ventanas escogido es SAINT-GOBAIN GLASS CLIMATE y el modelo es **SGG PLANITHERM "S"**.

principalmente a que el valor del coeficiente global de transferencia de calor es superior en el cristal. Al igual que ocurre en las gráficas anteriores los valores máximos de carga se alcanzan en los meses de invierno más fríos.

Puertas

La carga térmica de transmisión en puertas también se debe calcular, para ello la expresión empleada es,

$$Q_{puerta_{cal}} = U_{puerta} A_{puerta} \Delta T \quad [W] \quad (3.8)$$

El valor de U_{puerta} es proporcionado por el fabricante⁶, con un valor de 1,2 W/m²K. La superficie de puertas tienen un valor de 4,4 m² y ΔT tiene la misma expresión que (3.2).

La gráfica obtenida,

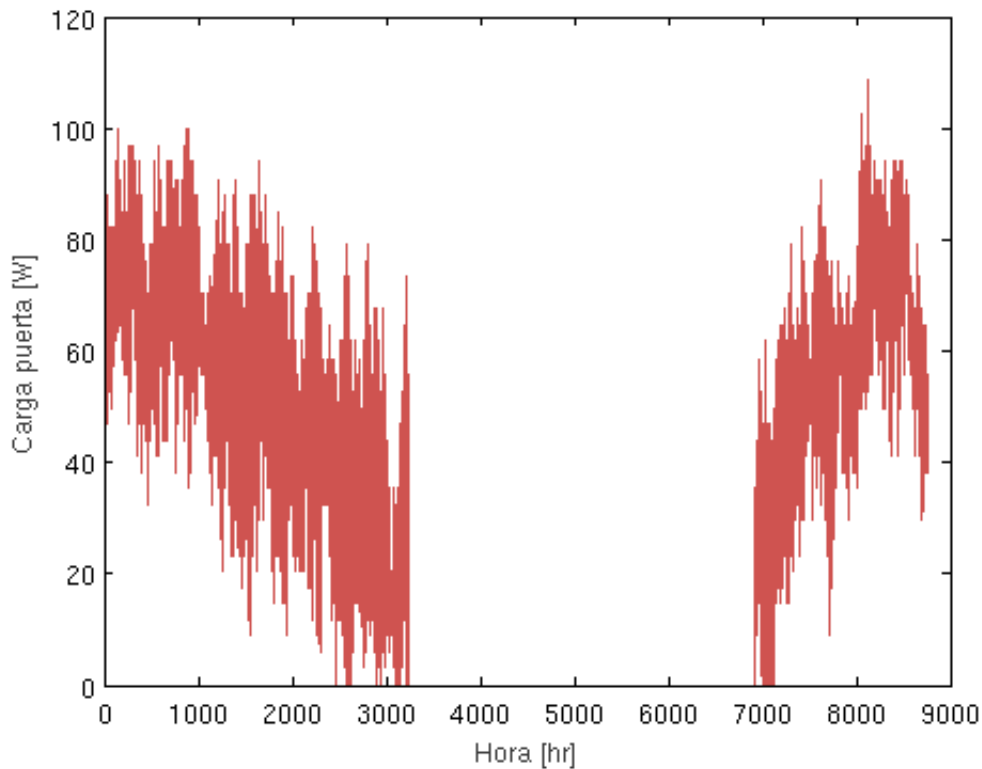


Figura 3.4: Carga térmica de transmisión en puertas exteriores en calefacción

⁶ El fabricante de puerta escogido es HÖRMANN y el modelo **Puerta exterior de seguridad KSI Thermo**.

Se puede apreciar que el valor máximo de carga de transmisión en puertas es notablemente inferior que en el caso de las ventanas, esto es porque la superficie de puertas es muy pequeña en comparación con la superficie total de ventanas ($A_{ventana} + A_{cristal}$). Además su coeficiente de transmisión también es menor.

También en esta gráfica se puede observar que los valores máximos se dan en los meses más gélidos y que la carga varia gradualmente hacia los meses de verano y viceversa.

3.1.2 Intercambio de aire

Ventilación

En ventilación la carga térmica se divide en *sensible* y en *latente*.

Para el cálculo de la carga de ventilación *sensible* se emplea la siguiente expresión,

$$Q_{ven\ sensible_{cal}} = V_a \rho_{aire} C_{p_{aire}} \Delta T \quad [W] \quad (3.9)$$

Donde V_a es el caudal de ventilación mínimo exigido en la vivienda en función de el número de ocupantes y del local, dichos valores están recogidos en la **Sección HS 3 Calidad del aire interior** del CTE. En este caso el caudal mínimo tiene un valor de $0,114 \text{ m}^3/\text{s}$. Las propiedades del aire se definen con la densidad, ρ_{aire} , y por su calor específico, $C_{p_{aire}}$. Por otro lado, ΔT tiene la misma expresión que en (3.2).

La gráfica obtenida en este caso es la siguiente,

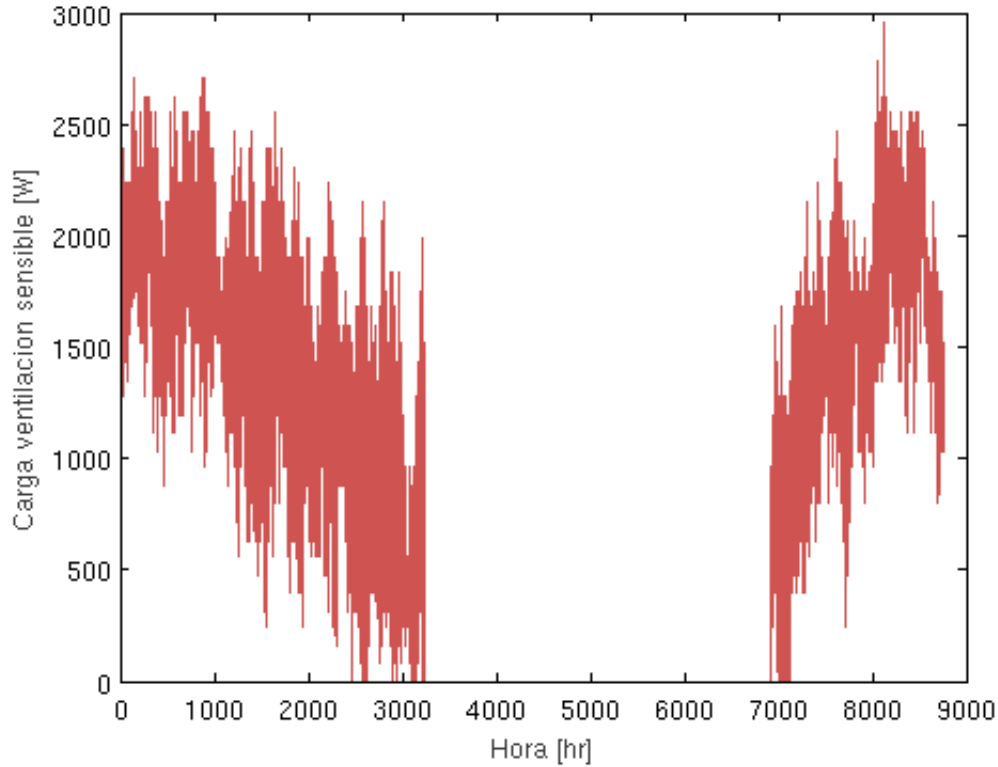


Figura 3.5: Carga térmica de intercambio de aire en ventilación sensible en calefacción

En este caso la carga térmica obtenida tiene valores máximos cercanos a los 3000 [W]. Estos valores son altos en comparación con las demás cargas, pero son los obtenidos para cumplir el Código Técnico de la Edificación.

Para la carga *latente* se usa la expresión

$$Q_{ven \ lat_{cal}} = V_a \rho_{aire} h_{fg} \Delta\omega \quad [W] \quad (3.10)$$

donde,

$$\Delta\omega = \omega_{ical} - \omega_{ext} \quad (3.11)$$

El parámetro ω_{ical} es la relación de humedades en el interior de la vivienda para calefacción y tiene un valor de 0,0073. La relación de humedades exterior se define con ω_{ext} y es función de la temperatura ambiente exterior. Por otro lado, V_a es el caudal mínimo de aire exigido por el CTE, cuyo valor es el mismo que en el cálculo anterior, $0,114 \text{ m}^3/\text{s}$, y las propiedades de aire se definen por la densidad, ρ_{aire} , y su la entalpía, h_{fg}

La gráfica obtenida se muestra a continuación,

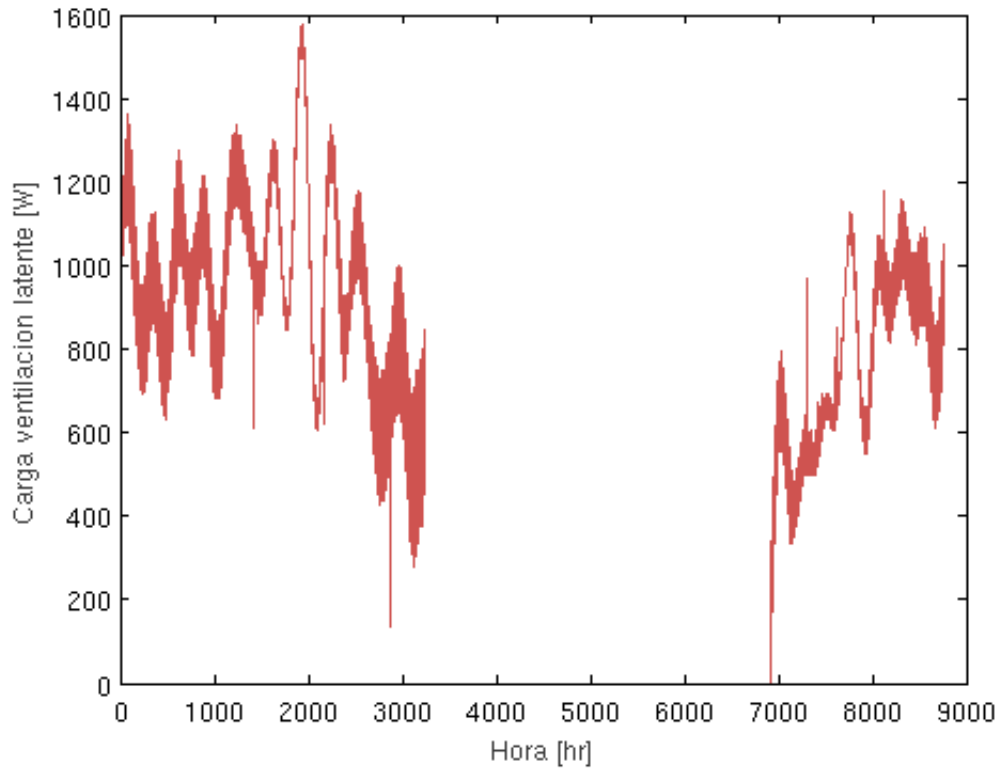


Figura 3.6: Carga térmica por infiltraciones de aire en ventilación latente en calefacción

Esta gráfica tiene un aspecto diferente a las demás, esto es debido a la variación de la relación de humedades del exterior. La relación de humedades no varía tanto en comparación con la temperatura exterior, es decir, tiene una variación más gradual. Se puede apreciar que la carga térmica es mayor en los meses más lluviosos y es más baja en los meses más secos.

Infiltraciones

Análogamente, en infiltraciones se diferencia la carga *sensible* de la *latente*.

Para el cálculo de la carga de infiltraciones *sensible* se utiliza,

$$Q_{inf\ sen\ cal} = (V_{puerta}A_{puerta} + V_{ventana}A_{ventana})\rho_{aire}C_{p\ aire}\Delta T \ [W] \quad (3.12)$$

Donde V_{puerta} es el caudal de aire por m² de puerta y $V_{ventana}$ el caudal de aire por m² de ventana. El valor de estos caudales están especificados en el manual de aire acondicionado de *Carrier*, cuyos valores son,

$$V_{puerta} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{ventana} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

La gráfica obtenida para la carga de intercambio de aire en infiltraciones sensible es,

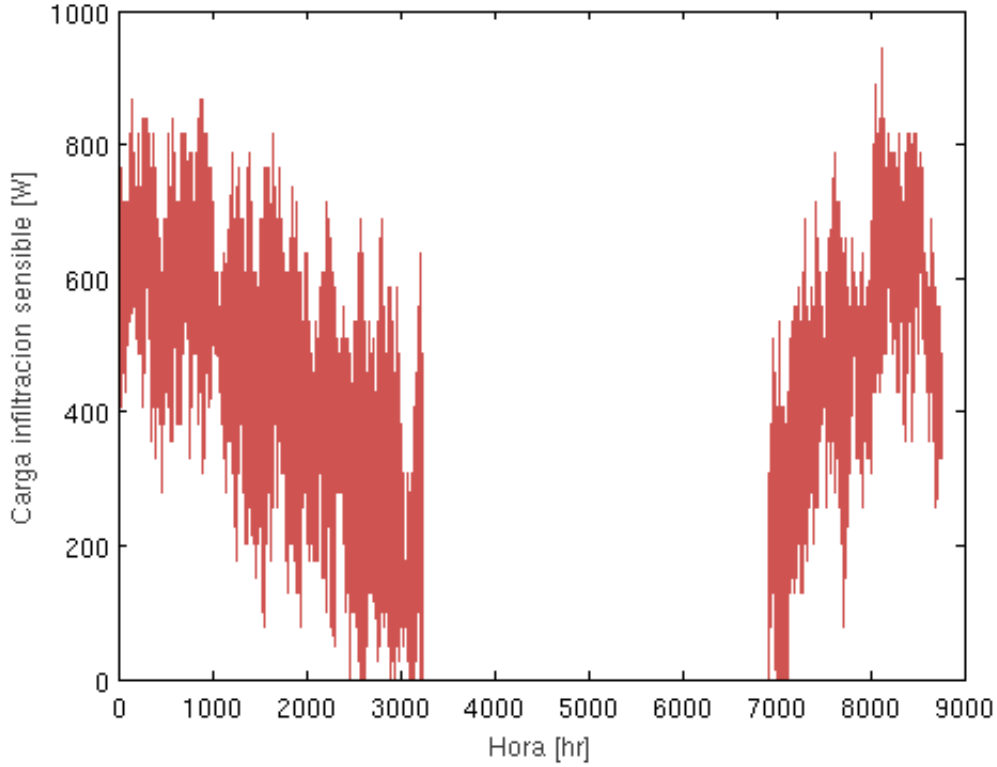


Figura 3.7: Carga térmica de intercambio de aire en infiltraciones sensible en calefacción

Esta gráfica es similar a las anteriores, es decir, tiene valores máximos de carga en los meses más fríos (944 W) y valores más bajos para los meses menos fríos. Además, como ocurre en los casos anteriores, la carga térmica muestra una variación gradual, decreciente hacia los meses de verano y creciente desde los meses de verano hasta el fin del año.

Para el cálculo de la carga latente se emplea,

$$Q_{inf\ lat_{cal}} = (V_{puerta}A_{puerta} + V_{ventana}A_{ventana})\rho_{aire}h_{fg}\Delta\omega \text{ [W]} \quad (3.13)$$

Donde los valores de los términos V_{puerta} y $V_{ventana}$ que aparecen en la expresión son iguales que en el caso de la carga *sensible*. El término $\Delta\omega$ es igual que la expresión (3.11).

Se obtiene,

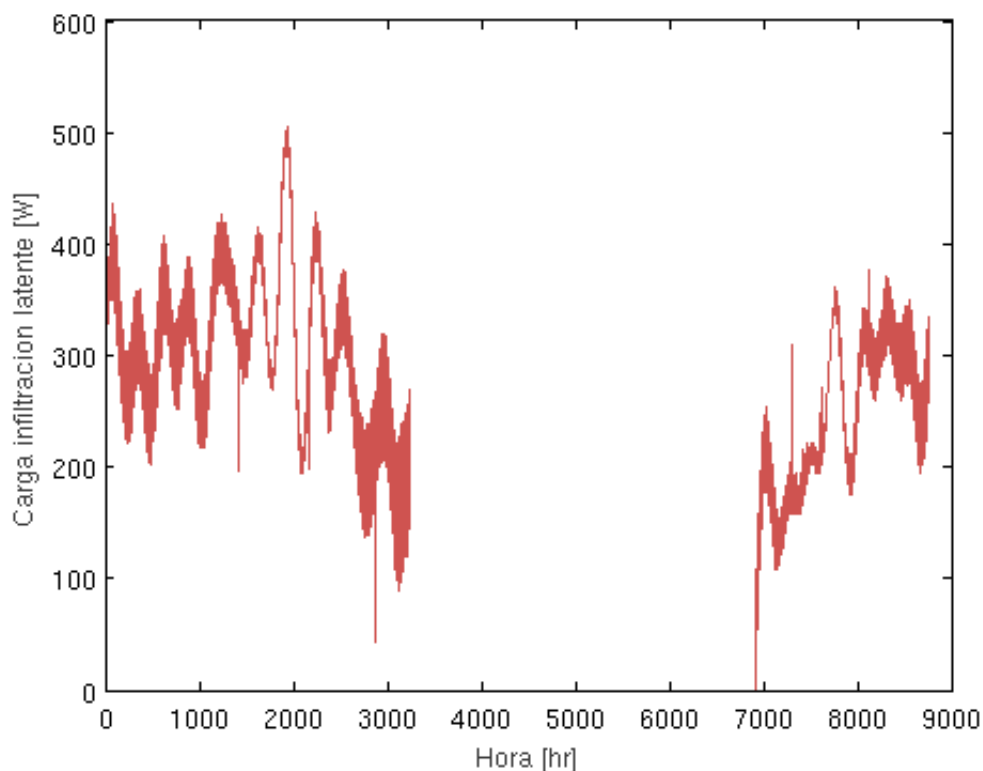


Figura 3.8: Carga térmica de intercambio de aire en infiltraciones latente en calefacción

Hay que destacar en esta gráfica que los valores máximos se dan en los meses más lluviosos. En cuanto a la evolución es similar a la figura 6, pero aquí se alcanzan valores más bajos de carga, ya que, los caudales de infiltraciones son más bajos que los caudales de ventilación.

3.2 CARGA REFRIGERACIÓN

3.2.1 Transmisión

Cerramiento

En el caso de cálculo de la carga de transmisión en el cerramiento para refrigeración se utiliza la expresión mostrada a continuación,

$$Q_{muro_{ref}} = U_{muro_{ref}} A_{muro} \Delta T \quad [W] \quad (3.14)$$

Pero en este caso,

$$\Delta T = T_{i_{ref}} - T_{ext} \quad (3.15)$$

El valor de $T_{i_{ref}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en los meses de verano. Los valores de U_{muro} y A_{muro} son los mismos que en el caso de calefacción.

La gráfica obtenida es,

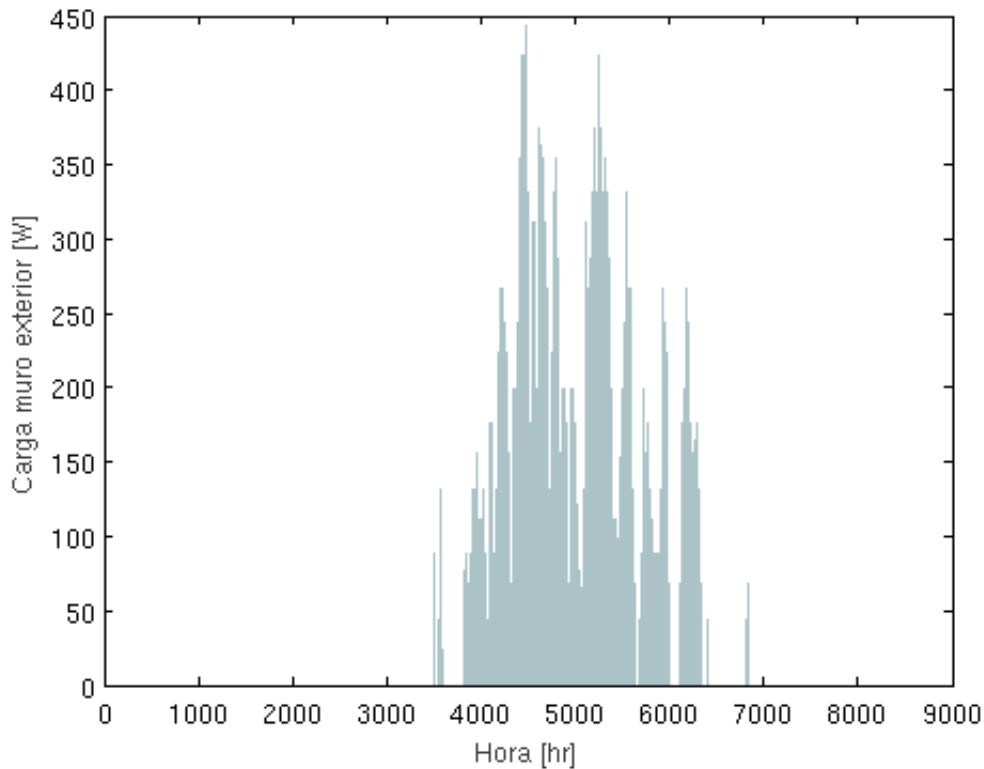


Figura 3.9: Carga térmica de transmisión en el cerramiento en refrigeración

Como era de esperar los valores máximos de carga (442,86 W) se alcanzan en los meses de verano más calurosos, como son junio, julio y agosto. Se observa que la carga tiene una variación gradual, ascendente según se aproximan esos meses y descendente según se acaba el verano.

Cubierta

La carga térmica de transmisión en cubiertas es otra de las cargas a calcular, para ello se hace uso de la siguiente expresión,

$$Q_{cubierta_{ref}} = U_{cubierta_{ref}} A_{cubierta} \Delta T \quad [W] \quad (3.16)$$

ΔT tiene la misma expresión que (3.15). La superficie de la cubierta ($A_{cubierta}$) tiene el mismo valor que en el caso de calefacción y el coeficiente global de transferencia de calor, $U_{cubierta_{ref}}$, se muestra en la *Tabla 2.8* del Capítulo 2.

Se obtiene la siguiente gráfica para la carga de transmisión en la cubierta,

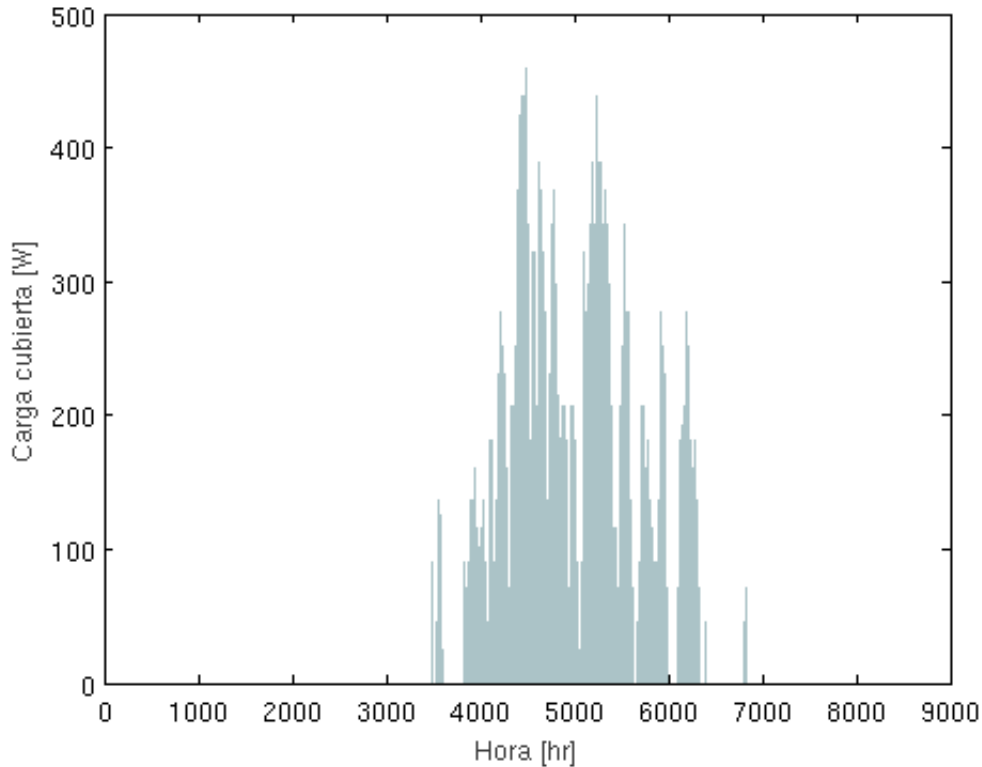


Figura 3.10: Carga térmica de transmisión en la cubierta en refrigeración

En esta gráfica, al igual que ocurre en la anterior, la máxima carga térmica se da en los meses más calurosos, y además se aprecia una variación gradual de la misma. Los valores obtenidos son similares cuyo valor máximo tiene un valor de 458,96 W.

Ventanas

Es necesario, también, realizar los cálculo de la carga de transmisión en ventanas para refrigeración. Para ello se utiliza la misma expresión que en el caso de calefacción pero variando ΔT para refrigeración,

$$Q_{ventana_{ref}} = (U_{ventana}A_{ventana} + U_{cristal}A_{cristal})\Delta T \text{ [W]} \quad (3.17)$$

Los valores de $U_{ventana}$, $A_{ventana}$, $U_{cristal}$ y $A_{cristal}$ son del mismo valor que en el caso de calefacción y ΔT tiene la misma expresión que (3.15).

La carga térmica obtenida tiene la siguiente gráfica,

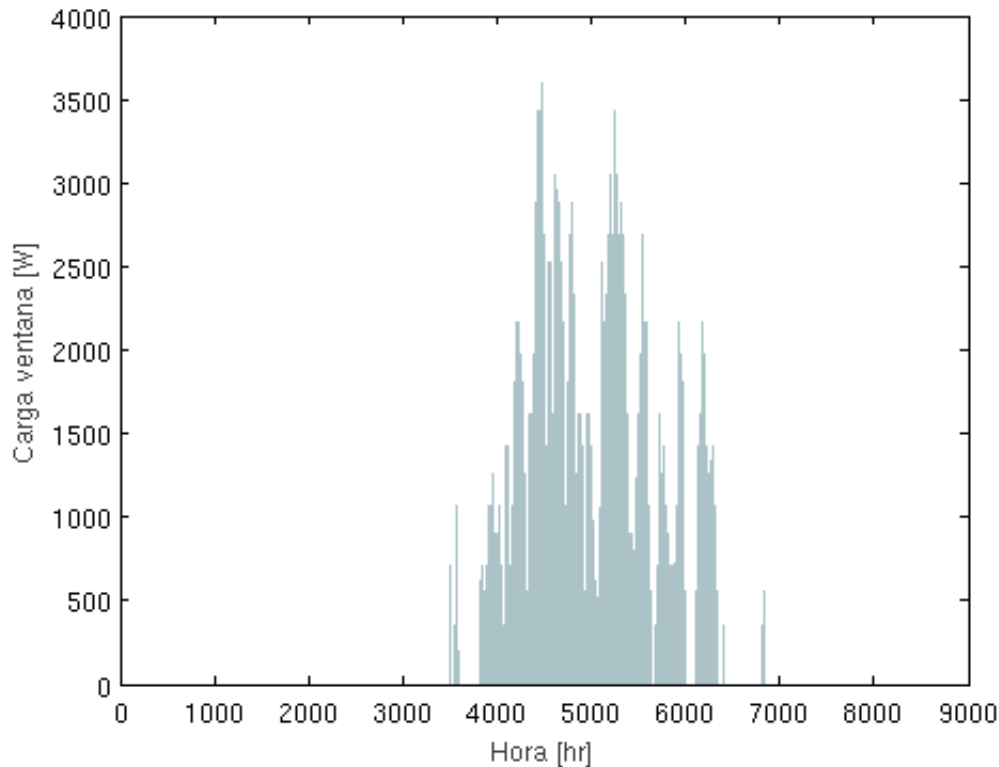


Figura 3.11: Carga térmica de transmisión en ventanas en refrigeración

La gráfica tiene el mismo aspecto que en los casos anteriores, pero en este

caso los valores que se alcanzan de carga son notablemente mayores. Esto se debe a que los coeficientes globales de transferencia de calor en las ventanas son mayores. El dato máximo tiene un valor de 3592,5 W, el cual, es de esperar que se alcance en el mes más caluroso.

Puertas

Como ocurre en la carga de transmisión en ventanas, la expresión de la carga en le caso de puertas es análoga a la de calefacción pero variando el término ΔT para refrigeración, expresión (3.15),

$$Q_{puerta_{ref}} = U_{puerta} A_{puerta} \Delta T \quad [W] \quad (3.18)$$

Se expresa gráficamente como,

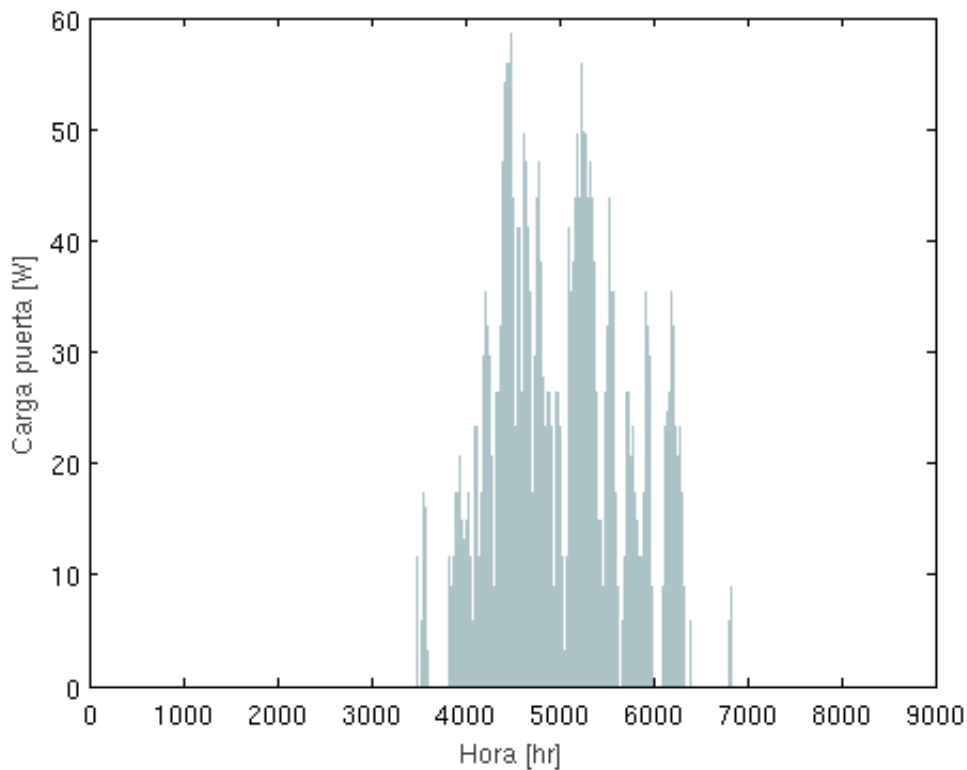


Figura 3.12: Carga térmica de transmisión en puertas en refrigeración

Evidentemente, los valores obtenidos en este caso son inferiores que en el caso de la carga en ventanas (su valor máximo es de 58,61 W), sin embargo, el aspecto de la gráfica es similar, la cargas mayores se mantienen en los meses más calurosos.

3.1.2 Intercambio de aire

Ventilación

Para el estudio de la carga de ventilación se tiene que dividir en carga *sensible* y carga *latente*.

Para calcular la carga sensible se emplea,

$$Q_{ven\ sen_{cal}} = V_a \rho_{aire} C_{p_{aire}} \Delta T \quad [W] \quad (3.19)$$

donde ΔT es igual a la expresión (3.15). El valor del caudal de ventilación, V_a , es el mismo que en el caso de calefacción.

La gráfica obtenida en este caso,

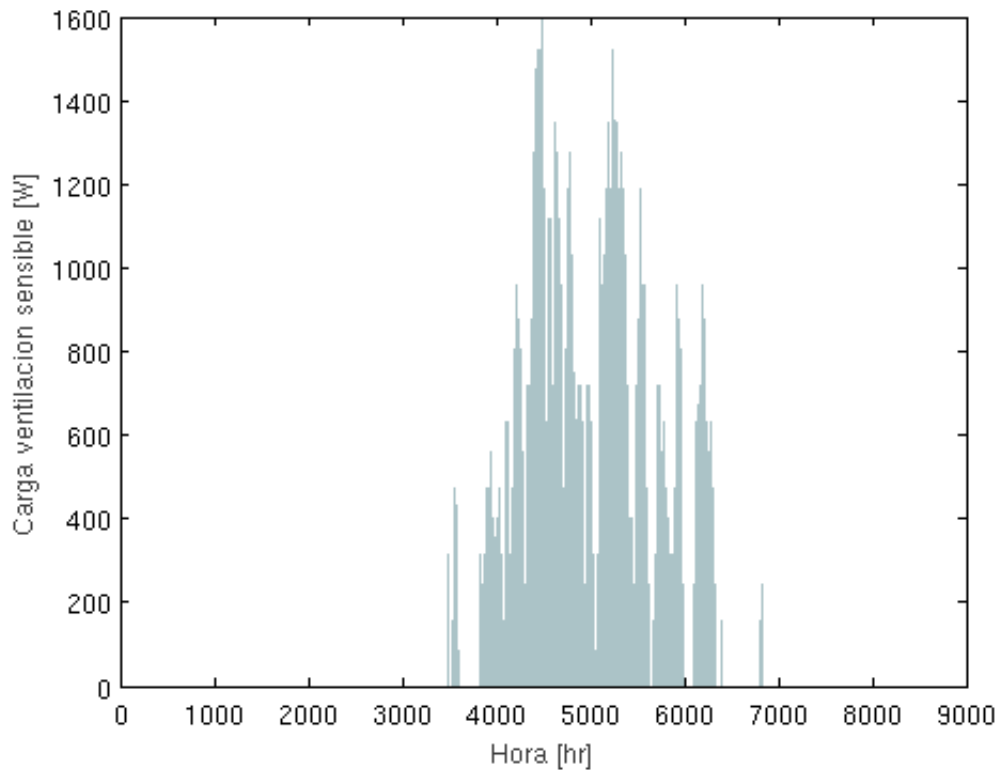


Figura 3.13: Carga térmica de intercambio de aire en ventilación sensible en refrigeración

En la carga de infiltraciones en ventilación sensible se obtienen valores máximos que alcanzan los 1524,6 W para poder cumplir el CTE. La distribución de estos valores es igual que en las cargas anteriores calculadas.

Para el cálculo de la carga *latente* se hace uso de,

$$Q_{ven\ latente_{ref}} = V_a \rho_{aire} h_{fg} \Delta\omega \quad [W] \quad (3.20)$$

pero en el caso de refrigeración $\Delta\omega$ es,

$$\Delta\omega = \omega_{i_{ref}} - \omega_{ext} \quad (3.21)$$

El valor de $\omega_{i_{ref}}$ es función de $T_{i_{ref}}$ y tiene un valor de 0,0099. El parámetro ω_{ext} es función de la temperatura T_{ext} en verano.

La gráfica obtenida para esta carga es,

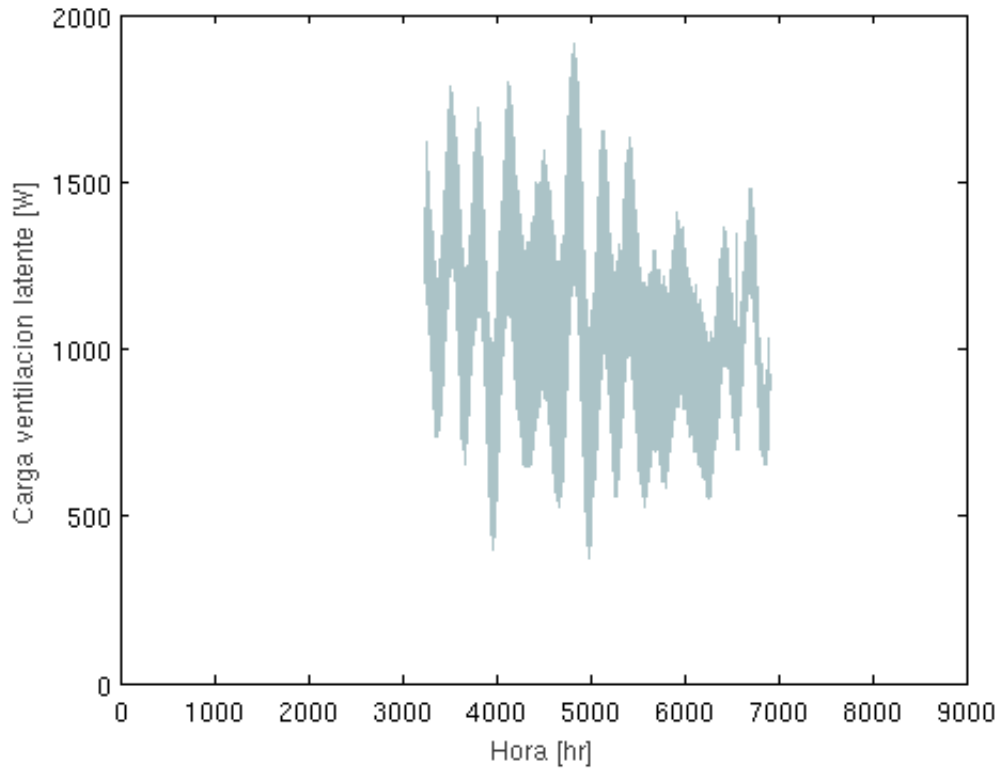


Figura 3.14: Carga térmica de infiltraciones en ventilación latente en refrigeración

Se aprecia en esta gráfica que el valor de la carga es más o menos igual en todos los meses de verano, lo cual se debe a la poca variabilidad de la relación de humedades en ese periodo, debido principalmente a la escasez de lluvia. El valor máximo se sigue alcanzando en los meses más calurosos, ya que ω_{ext} es menor cuanto más alta es la temperatura exterior.

Infiltraciones

Para el cálculo de la carga intercambio de aire en infiltraciones también se distingue la carga *sensible* de la *latente*.

Para la carga *sensible* se aplica,

$$Q_{inf\ sen_{ref}} = (V_{puerta}A_{puerta} + V_{ventana}A_{ventana})\rho_{aire}Cp_{aire}\Delta T \quad [W] \quad (3.22)$$

Donde todos los términos de la expresión son iguales que en el caso para calefacción, pero se varía ΔT utilizando la expresión (3.15).

La gráfica de infiltraciones sensible tiene el siguiente aspecto,

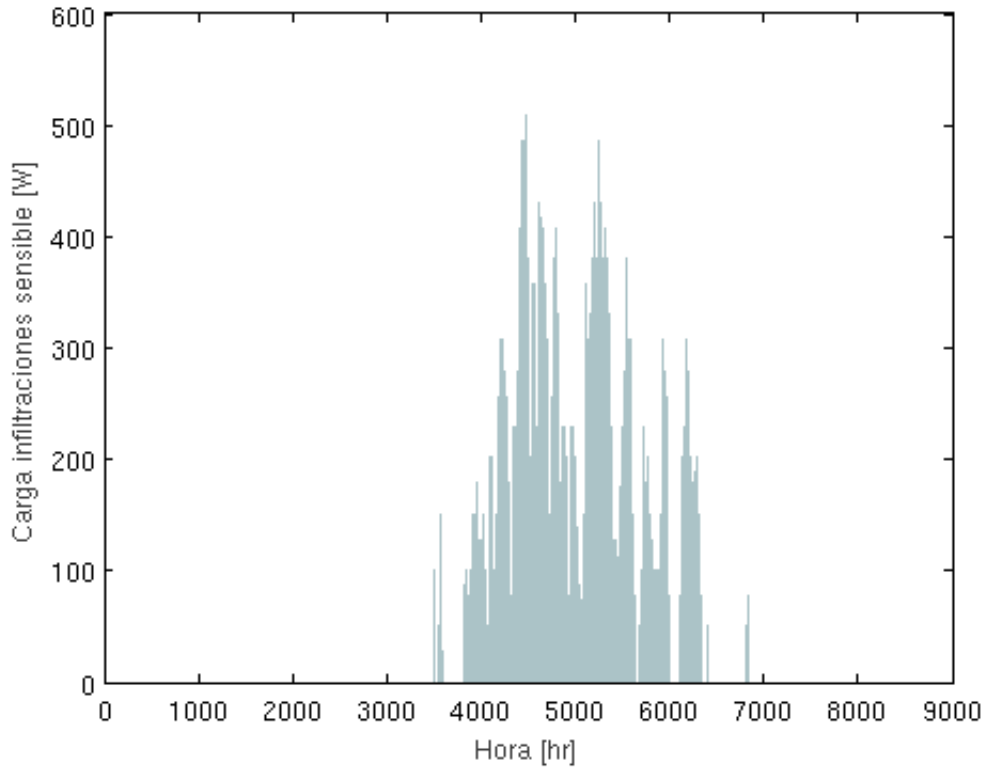


Figura 3.15: Carga térmica de intercambio de aire en infiltraciones sensible en refrigeración

Esta gráfica sigue la evolución explicada en la gráfica de ventilación *sensible* en refrigeración, pero se obtienen valores más bajos en infiltraciones (valor máximo de 508,66 [W]), esto es debido principalmente a que el caudal de *Carrier* es inferior al caudal de ventilación.

Para el caso del cálculo de la carga latente se tiene,

$$Q_{inf\ lat_{ref}} = (V_{puerta}A_{puerta} + V_{ventana}A_{ventana})\rho_{aire}h_{fg}\Delta\omega \quad [W] \quad (3.23)$$

Donde, todos los términos de la expresión son iguales que en (3.13) salvo $\Delta\omega$ que se expresa como (3.21).

La gráfica obtenida,

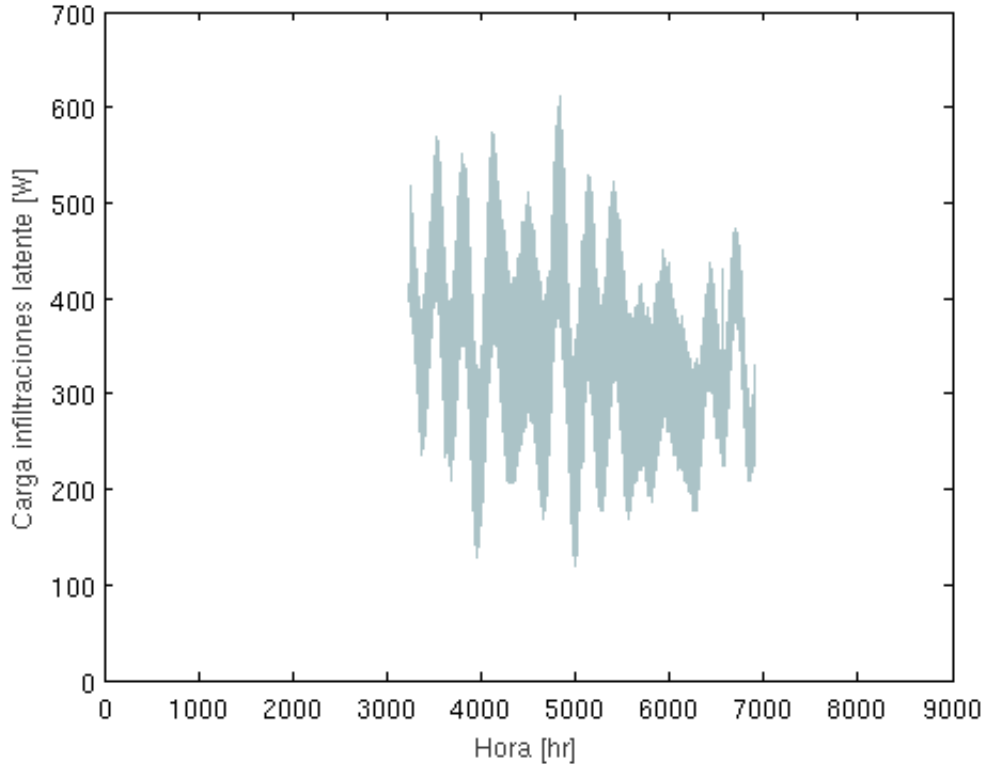


Figura 3.16: Carga térmica de intercambio de aire en infiltraciones latente en refrigeración

Esta gráfica posee características similares a la gráfica de la *Figura 3.14*, pero en este caso los valores de carga son menores (valor máximo de 774,06 W).

3.2.3 Radiación

En este apartado se muestran los resultados de la carga térmica de radiación en refrigeración. Es interesante introducir la gráfica de radiación global para conocer los valores de la misma a lo largo del año.

La gráfica de radiación global tiene el siguiente aspecto,

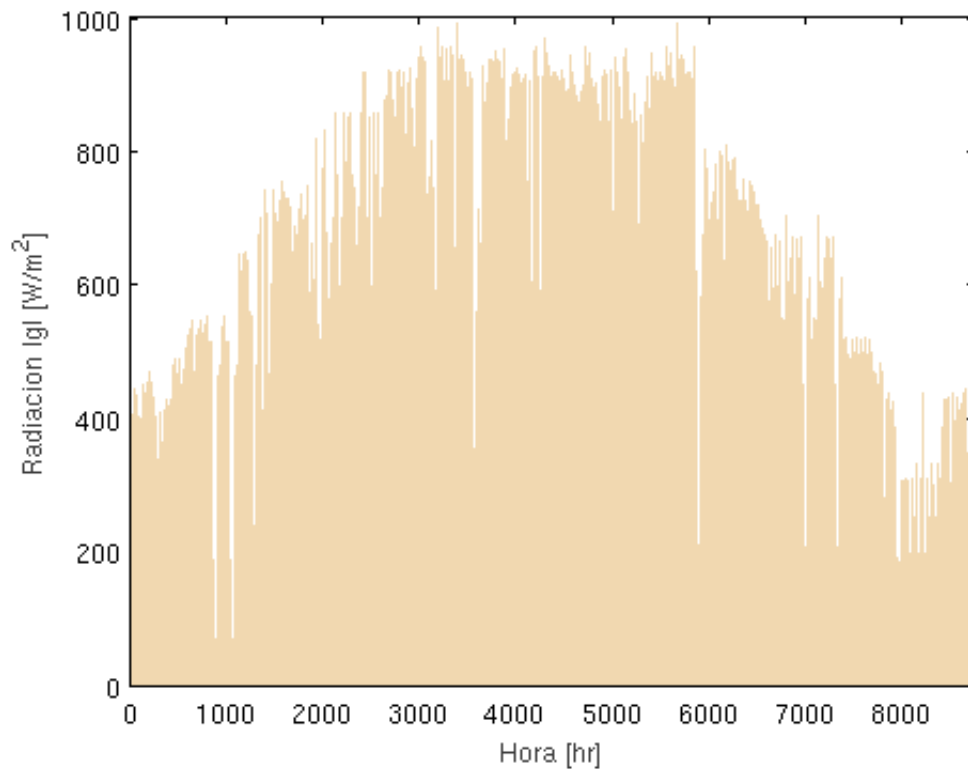


Figura 3.17: Radiación Global para todo el año

Se aprecia en la gráfica que la radiación global alcanza valores máximos en los meses de verano debido a que en ese periodo el índice de transparencia atmosférica tiene un valor cercano a la unidad debido a que la radiación solar incide más perpendicularmente, recorriendo menor distancia en la atmósfera.

Para refrigeración sólo interesa la radiación que llega a las ventanas en los meses de verano, por ello sólo se considerarán los datos para ese periodo. A continuación se muestran las gráficas de radiación según la orientación, lo cual nos interesa para conocer la radiación que llega a cada ventana según su disposición en la vivienda.

Orientación Sur,

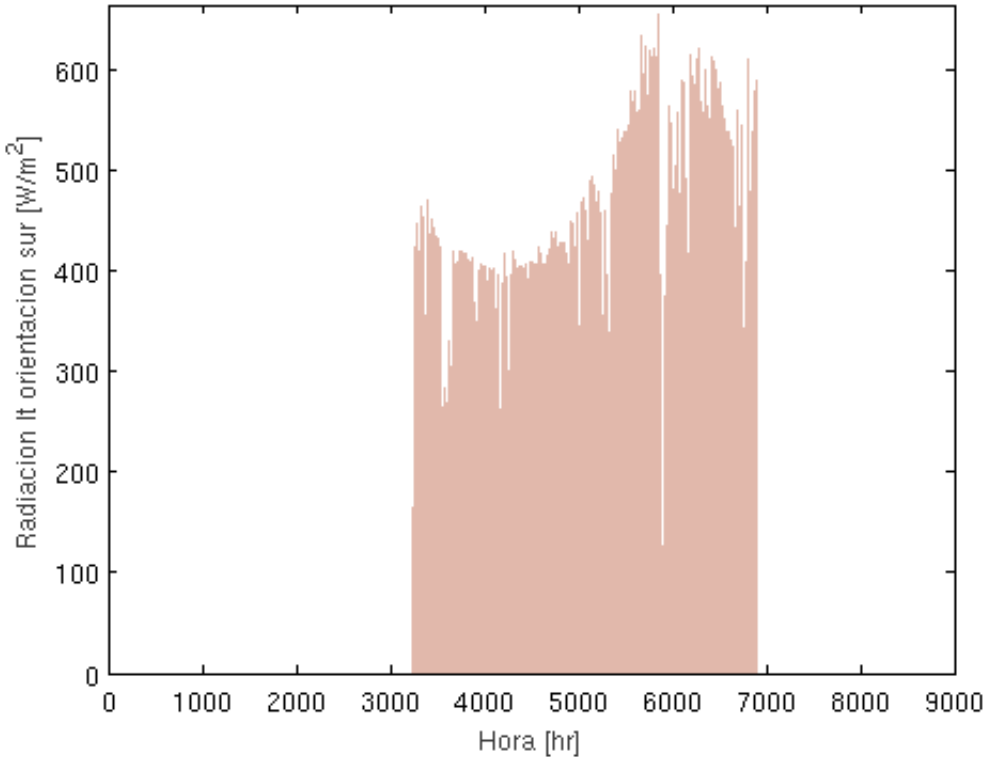


Figura 3.18: Radiación en el plano de la ventana orientada al Sur

Orientación Norte,

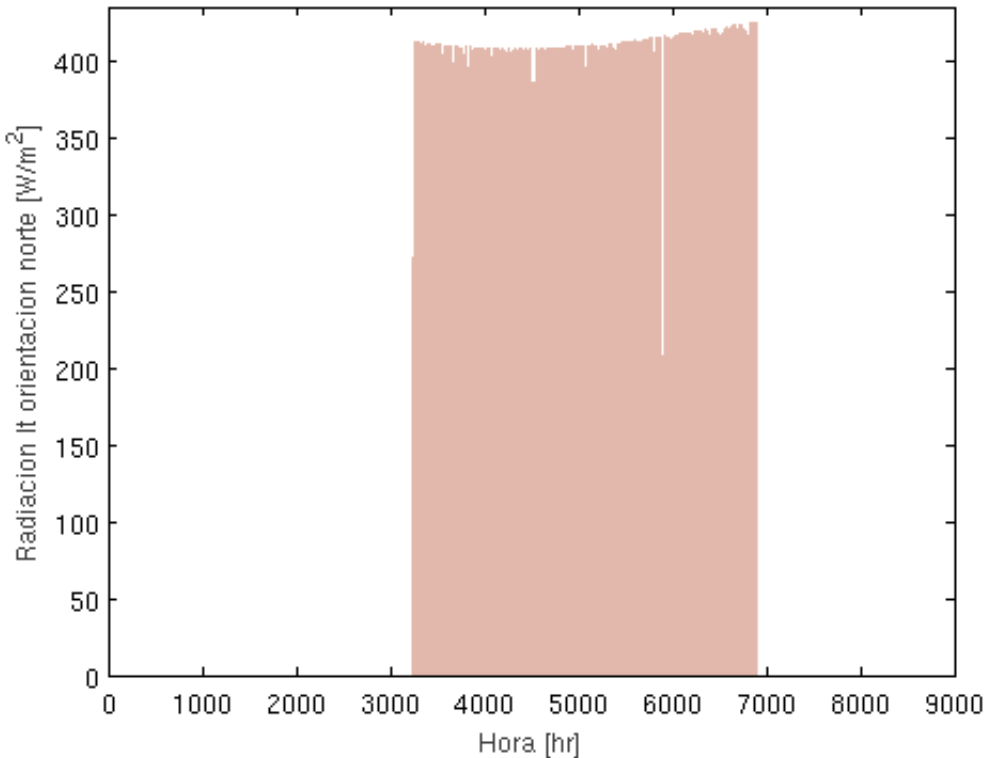


Figura 3.19: Radiación en el plano de la ventana orientada al Norte

Orientación Este,

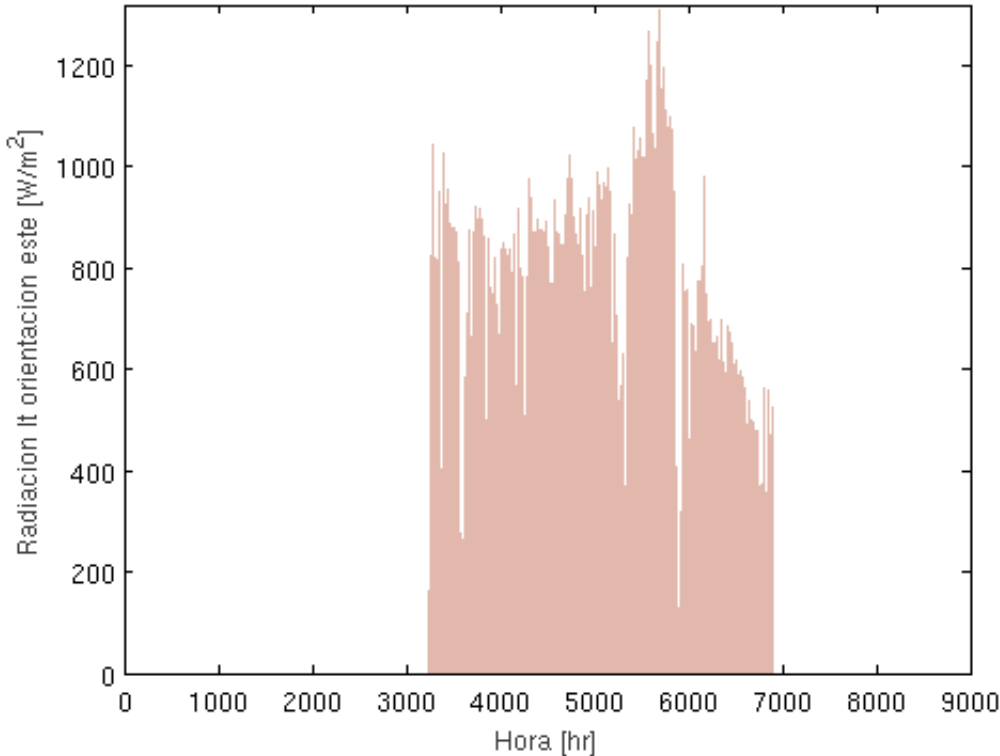


Figura 3.20: Radiación en el plano de la ventana orientada al Este

Orientación Oeste,

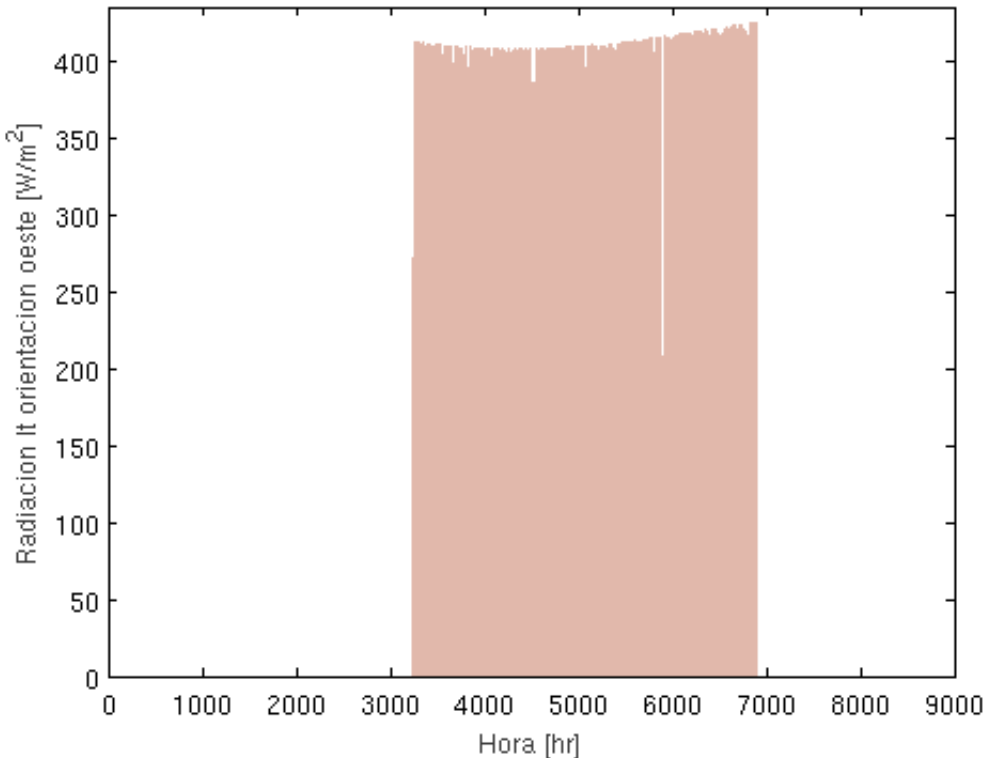


Figura 3.21: Radiación en el plano de la ventana orientada al Oeste

A continuación, se muestran las expresiones para el cálculo de la carga térmica de radiación en refrigeración en función de la orientación de la ventana,

Orientación **Sur**,

$$Q_{radSUR_{ref}} = f_t \tau A_{ventSUR} I_{SUR} \quad [W] \quad (3.24)$$

donde,

$$\begin{aligned} f_t &= \text{Factor de corrección por toldo}, 0,3 \\ \tau &= \text{Transmitancia en ventanas}, 0,8 \\ A_{ventSUR} &= \text{Superficie de ventana en la orientación Sur} \\ I_{SUR} &= \text{Radiación en ventanas orientadas al Sur} \end{aligned}$$

Orientación **Norte**,

$$Q_{radNORTE_{ref}} = f_t \tau A_{ventNORTE} I_{NORTE} \quad [W] \quad (3.25)$$

donde,

$$\begin{aligned} A_{ventNORTE} &= \text{Superficie de ventana en la orientación Norte} \\ I_{NORTE} &= \text{Radiación en ventanas orientadas al Norte} \end{aligned}$$

Orientación **Este**,

$$Q_{radESTE_{ref}} = f_t \tau A_{ventESTE} I_{ESTE} \quad [W] \quad (3.26)$$

donde,

$$\begin{aligned} A_{ventESTE} &= \text{Superficie de ventana en la orientación Este} \\ I_{ESTE} &= \text{Radiación en ventanas orientadas al Este} \end{aligned}$$

Orientación **Oeste**,

$$Q_{radOESTE_{ref}} = f_t \tau A_{ventOESTE} I_{OESTE} \quad [W] \quad (3.27)$$

donde,

$$\begin{aligned} A_{vent\ OESTE} &= \text{Superficie de ventana en la orientación Oeste} \\ I_{OESTE} &= \text{Radiación en ventanas orientadas al Oeste} \end{aligned}$$

Por lo tanto la carga térmica total de radiación en ventanas se expresa como,

$$Q_{rad_{ref}} = Q_{radSUR_{ref}} + Q_{radNORTE_{ref}} + Q_{radESTE_{ref}} + Q_{radOESTE_{ref}} \quad (3.28)$$

la gráfica resultante,

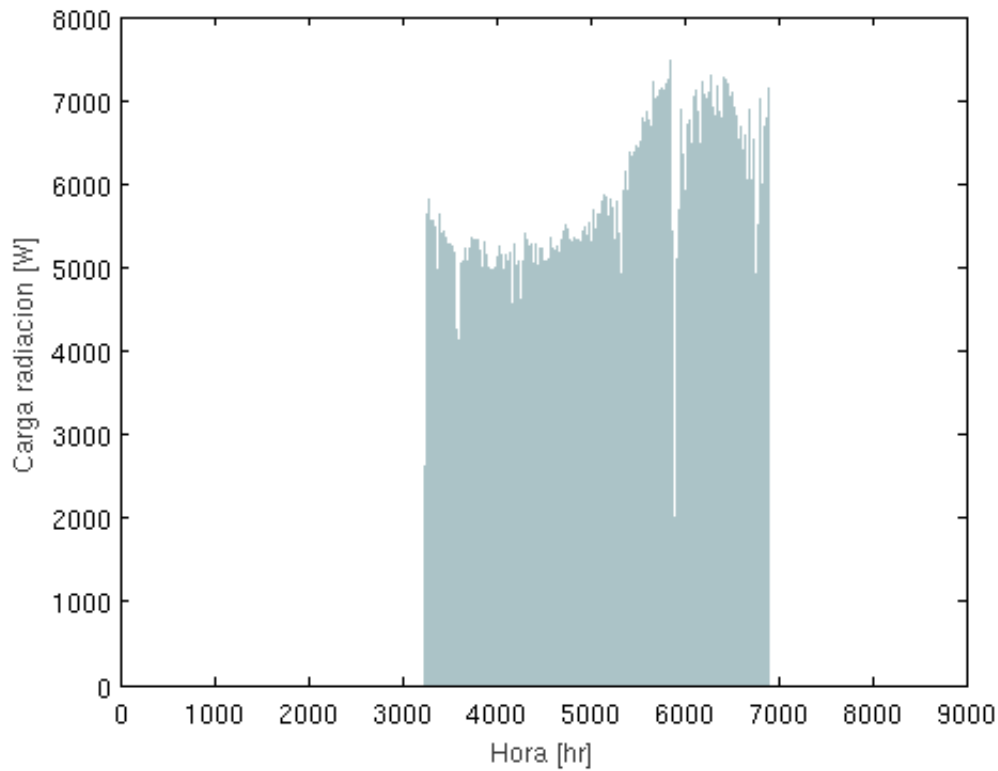


Figura 3.22: Carga térmica de radiación en refrigeración

Se puede apreciar que la carga térmica resultante en radiación tiene valores elevados, debido principalmente a la gran superficie acristalada de la que se compone la vivienda. También se observa que la carga tiene un valor constante a lo largo del verano, con un valor máximo de 4813,3 W.

3.2.4 Internas

Ocupación

La carga de ocupación hay que tenerla en cuenta en el estudio de la carga térmica de la vivienda. En este caso también se distingue la carga *sensible* de la *latente*.

Los resultados obtenidos son constantes y de valor,

Sensible

$$Q_{ocu\ sen_{ref}} = q_{sen} N_{per} = 120 \text{ [W]} \quad (3.29)$$

Latente

$$Q_{ocu\ lat_{ref}} = q_{lat} N_{per} = 120 \text{ [W]} \quad (3.30)$$

Los valores de q_{sen} y q_{lat} son, respectivamente, 60 W/persona y 70 W/persona.

Iluminación

Se debe considerar en la vivienda la carga térmica que deriva de la iluminación, para su cálculo se emplea,

$$Q_{ilu_{ref}} = P_{ilu} A_{viv} = 2300 \text{ [W]} \quad (3.31)$$

donde, P_{ilu} es la potencia por m^2 que tiene la iluminación y A_{viv} es la superficie de la vivienda.

Equipos

Los equipos en una vivienda se consideran una carga térmica que hay que tener en cuenta en refrigeración. Se tendrán en cuenta la carga térmica del ordenador, nevera y la televisión. Se obtiene es ese caso un valor constante,

$$Q_{equi_{ref}} = Q_{ord} + Q_{nev} + Q_{tele} = 700 \text{ [W]} \quad (3.32)$$

3.3 CARGA TOTAL DE UN AÑO

En este apartado se recogen todos los resultados obtenidos de carga térmica en calefacción y en refrigeración. Estos resultados se representan en la siguiente gráfica,

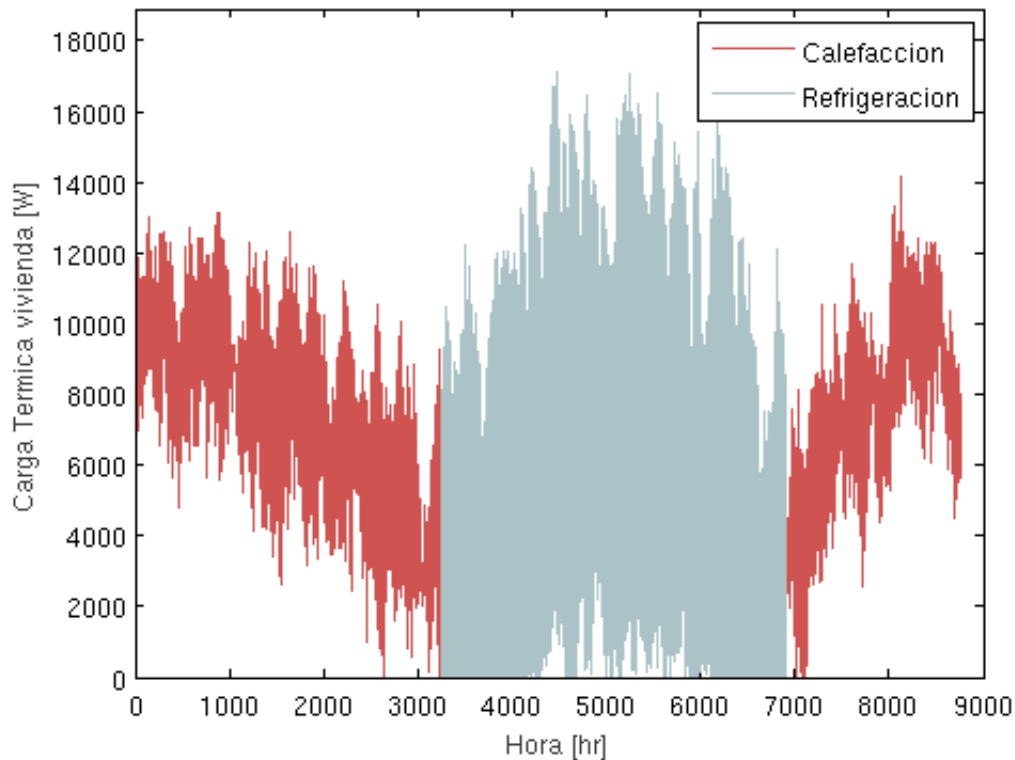


Figura 3.23: Carga térmica total para todo el año

La gráfica representa la suma de toda la carga térmica de calefacción en rojo y la suma de toda la carga térmica de refrigeración en azul.

Los valores máximos se alcanzan en la carga de refrigeración, debido a la radiación, principalmente, ya que, la vivienda cuenta con una gran superficie acristalada. Era de esperar que la máxima carga se obtenga en los meses más fríos, en calefacción, y en los meses más calurosos, en refrigeración. Los valores máximos rondan los 14081 W en calefacción y los 14991 W en refrigeración.

Una vez recogidos los datos de demanda de la vivienda se puede comenzar a diseñar los equipos térmicos de los que contará la misma, como son la instalación ACS, caldera de biomasa y la instalación de células fotovoltaicas.

CAPÍTULO 4
DISEÑO DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

En este capítulo se van a definir las instalaciones térmicas con las que va a contar la vivienda. Ésta contará con una instalación solar para agua caliente sanitaria y una caldera de biomasa para calefacción. Para el diseño de las instalaciones se hará uso del análisis de cargas térmicas, cuyos resultados se muestran en el Capítulo 3.

4.1 PRODUCCIÓN DE ACS

La producción de agua caliente sanitaria (ACS) se va a cubrir, al menos parcialmente por medio de una instalación solar térmica. El método utilizado para el dimensionado de la instalación es el Método *f-chart*, el cual se explicará a lo largo de este capítulo.

La instalación se ha definido en función de la demanda diaria de agua caliente que se consume, cuyos valores están disponibles en el Código Técnico de la Edificación. En este caso, se ha utilizado una demanda de 60 l/día por persona, con lo cual la demanda a cubrir en este caso es 180 l/día.

El Método *f-chart* es muy utilizado para el dimensionado de instalaciones solares térmicas, ya que, permite realizar el cálculo del aporte de calor total necesario para cubrir la demanda.

Lo que se quiere calcular en este apartado es la cantidad de calor útil que se puede obtener de la instalación para poder cubrir la demanda de ACS. La parte de calor que quede sin cubrir se aportará por medio de una caldera de biomasa, la misma que se empleará para calefacción.

La ecuación utilizada en el Método *f-chart* es la siguiente,

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3 \quad (4.1)$$

El método seguido para el cálculo del parámetro *f* es el siguiente,

1. Determinación de la demanda de ACS.
2. Radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador.
3. Cálculo del parámetro D_1 .
4. Cálculo del parámetro D_2 .
5. Determinación del parámetro f .
6. Valoración del aporte solar mensual.
7. Valoración del aporte solar anual.

El cálculo de la demanda de ACS se mostró en el Capítulo 3. Dicha demanda se calculó en función del volumen de agua consumido por persona y día, V_{ACS} , cuyo valor se encuentra en el Código Técnico de la Edificación, y de la temperatura de red, es decir,

$$Q_{ACS} = V_{ACS} \rho_{H_2O} C_{pH_2O} (T_{ACS} - T_{red}) \quad (4.2)$$

La demanda mensual de ACS se muestra en la siguiente gráfica,

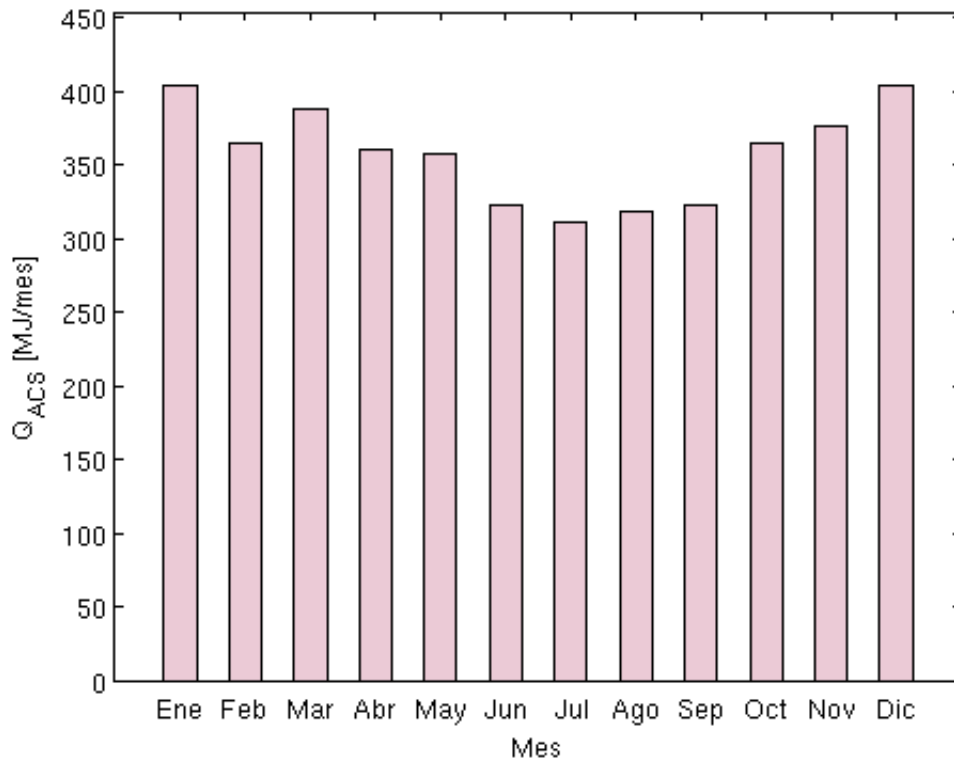


Figura 4.1: Demanda ACS para cada mes

La radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador se determinó también en el Capítulo 3 a partir de la radiación media en la superficie horizontal. Dicho cálculo se explica detalladamente en dicho

Capítulo. Se obtuvo la siguiente gráfica para la radiación en una superficie con un ángulo de inclinación de $50,18^\circ$,

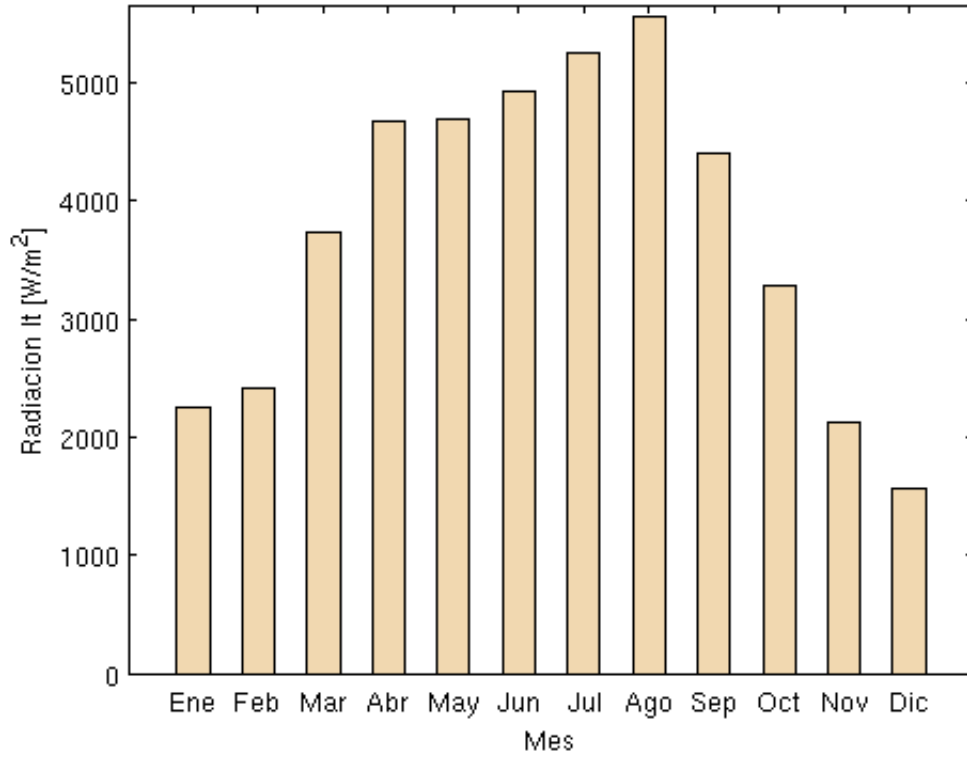


Figura 4.2: Radiación en la superficie inclinada para todo el año

Los parámetros D_1 y D_2 se definen como,

PARÁMETRO D_1

El parámetro D_1 es la energía absorbida por el captador adimensionalizada por medio de la carga calorífica necesaria para producir ACS, es decir,

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{carga calorífica}} = \frac{E_a}{Q_c} \quad (4.3)$$

Donde,

$$E_a = S F'_R(\tau\alpha) E_{dia} N \quad (4.4)$$

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n [(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n] (F'_R/F_R) \quad (4.5)$$

E_a : Energía absorbida.

S : Superficie de captación.

$E_{día}$: Energía solar media diaria.

N : número de días del mes.

Q_c : carga calorífica.

$F_R(\tau \alpha)_n$: Eficiencia óptima del captador.

$(\tau \alpha)/(\tau \alpha)_n$: Modificador ángulo de incidencia (normal 0,96).

(F'_R/F_R) : Corrección captador-intercambiador (normal 0,95)

PARÁMETRO D_2

El parámetro D_2 es la energía perdida por el captador adimensionalizada con la carga calorífica, se expresa como

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{carga calorífica}} = \frac{E_p}{Q_c} \quad (4.6)$$

$$E_p = S F'_R U (T_{ref} - T_a) \Delta t K_1 \quad (4.7)$$

$$F'_R U = F_R U (F'_R/F_R) \quad (4.8)$$

$$K_1 = \left[\frac{\text{kg acumulacion}}{75S} \right]^{-0,25} \quad (4.9)$$

$$37,5 < \left[\frac{\text{kg acumulacion}}{m^2 \text{ captador}} \right] < 300 \quad (4.10)$$

E_p : Energía perdida.

S : Superficie de captación.

T_{ref} : Energía solar media diaria.

T_a : número de días del mes.

Δt : Intervalo de tiempo estudiado (en segundos).

K_1 : Factor de corrección por almacenamiento.

Q_c : carga calorífica.

Una vez calculados D_1 y D_2 puede determinarse el parámetro f y con ello calcular el calor útil captado,

$$Q_u = f Q_c \quad (4.11)$$

El aporte solar mensual será por tanto el valor del propio parámetro f ,

$$Aporte\ solar\ mensual = \frac{Q_u}{Q_c} = f \quad (4.12)$$

Finalmente el aporte solar anual se puede determinar a partir del aporte mensual

$$Aporte\ solar = \frac{\sum_{m=1}^{12} Q_{um}}{\sum_{m=1}^{12} Q_{cm}} \quad (4.13)$$

Una vez calculado el aporte solar anual se itera el número de colectores hasta conseguir que dicho aporte solar cumpla los valores propuestos por el Código Técnico de la Edificación. A continuación se muestran y se comentan los resultados.

La instalación contará con el siguiente tipo de colector,

Marca	WORCESTER Bosch Group
Panel	Solar-Lito <i>Mini</i>
Dimensiones	1032 1032 67 mm
Superficie Bruta	1,06 m ²
Superficie Apertura	0,96 m ²
Superficie Absorción	0,87 m ²
Volumen	0,62 l
Peso	18 kg
Cubierta	Cromo negro
α	95 % \pm 2 %
ϵ	10 % \pm 2 %
η_o	74,00%
k_1	4,424 W/m ² K
k_2	0,013 W/m ² K ²

Tabla 4.1: Datos técnicos del colector empleado

Como se puede apreciar, el tamaño del colector es más pequeño que los habituales (estándar $\sim 2 \text{ m}^2$), esto es debido a que si se utiliza un colector de tamaño estándar se superan las exigencias impuestas por CTE, es decir, el aporte solar mensual es excesivo.

Una vez aplicado el Método *f-chart* para cubrir una demanda de ACS se han llegado a los siguientes resultados,

Número de colectores	2
Volumen almacenado	79,2 l
Aporte solar anual	70,41%

*Tabla 4.2: Resultados del Método *f-chart**

El aporte mensual obtenido se muestra en la siguiente tabla,

Mes	%
Enero	39,23
Febrero	42,91
Marzo	71,51
Abril	89,12
Mayo	92,71
Junio	99,98
Julio	107,39
Agosto	109,16
Septiembre	91,86
Octubre	66,90
Noviembre	38,22
Diciembre	22,20

Tabla 4.3: Aporte solar mensual

En esta tabla se muestran los valores obtenidos de aporte solar mensual de la instalación solar térmica para ACS. Se puede apreciar los valores más

altos para los meses centrales del año, como ya se dijo en el capítulo 3, esto es debido a que la radiación incide más perpendicularmente en estos meses. Aún así, para poder cumplir las exigencias del CTE se ha elegido una inclinación de los colectores de valor $\beta = \text{Latitud} + 10^\circ$. Esto evita que durante tres meses seguidos se tenga una aporte solar superior al 100%, lo que conllevaría problemas de sobrecalentamiento según el CTE y se deberían tomar las medidas pertinentes para solventarlo, además de favorecer la captación en los meses de invierno.

Representado gráficamente se tiene,

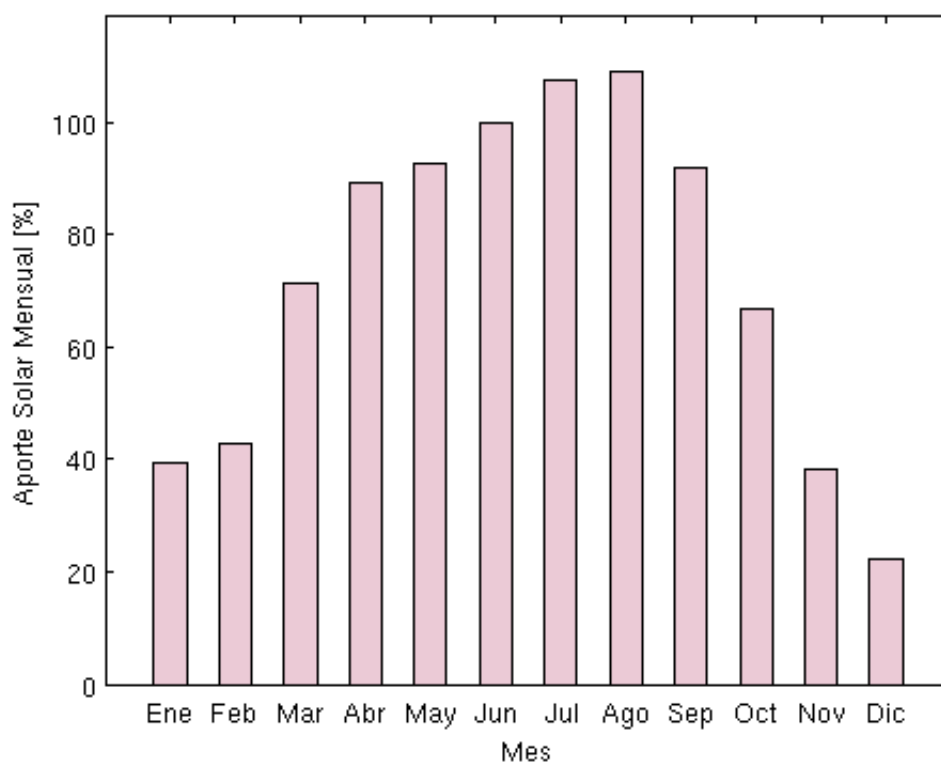


Figura 4.3: Aporte solar mensual

En el gráfico se aprecia claramente que en los meses centrales la demanda cubierta es mayor, incluso en los meses de julio y agosto el aporte solar supera el 100%.

Debido a que no se cubre el 100% de la demanda en la mayoría de los meses, se debe utilizar una fuente auxiliar que cubra la parte restante. Por ello se va utilizar una caldera de biomasa como fuente externa, la cual deberá cubrir,

Mes	Caldera [kWh]
Enero	44,49
Febrero	45,02
Marzo	11,33
Abril	0,00
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	5,99
Octubre	20,64
Noviembre	48,61
Diciembre	63,61

Tabla 4.4: Demanda aportada por la caldera mensual en ACS

Una vez calculada la energía que tiene que aportar la caldera, se tiene que calcular la cantidad de combustible necesario para la caldera en cada mes,

$$m_c(mes) = \frac{E_{ACS}(mes)}{\eta_{cal}PCI} \quad (4.14)$$

Siendo η_{cal} el rendimiento de la caldera, de valor 0,85. El PCI es el poder calorífico inferior del combustible utilizado (pellets) y tiene un valor de 4,90 kWh/kg.

A continuación, se representa una tabla con la cantidad de combustible necesario para cada mes,

Mes	Masa Pellets [kg]
Enero	10,68
Febrero	10,81
Marzo	2,72
Abril	0,00
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	1,44
Octubre	4,96
Noviembre	11,67
Diciembre	15,27

Tabla 4.5: Masa de combustible mensual

La masa de combustible anual es la suma de la masa de combustible necesaria en cada mes,

$$m_{c_{ANUAL}} = \frac{\sum_{m=1}^{12} E_{ACS_m}}{\eta_{cal} PCI} = 57,55 \text{ kg/año} \quad (4.15)$$

4.2 PRODUCCIÓN DE CALEFACCIÓN

En este apartado se va a explicar el procedimiento de diseño de la instalación de calefacción. Dicha instalación contará con una caldera de biomasa diseñada, no sólo para cubrir la demanda de calefacción, sino también para cubrir parte de la demanda de ACS que no cubre la instalación solar térmica.

El diseño de la caldera se hace en base de la carga térmica para calefacción calculada en el Capítulo 3 del proyecto. La carga térmica de calefacción resultante para todo el año tiene un valor de $E_c = 39,88 \text{ MWh/año}$. Con ella se calcula la cantidad de combustible necesario para calefacción,

$$m_{c_{CALEFACCIÓN}} = \frac{E_c}{\eta_{cal} PCI} = 9519,5 \text{ kg/año} \quad (4.16)$$

Como ya se ha dicho, se tiene que cubrir también la demanda no abastecida por la instalación solar térmica para ACS, con lo cual, la masa de combustible necesaria para cada mes es,

$$m_{cTOTAL}(mes) = m_{cCALEFACCIÓN}(mes) + m_{cACS}(mes) \quad (4.17)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla,

Mes	Masa Pellets [kg]
Enero	1770,80
Febrero	1488,60
Marzo	1378,10
Abril	1063,40
Mayo	364,30
Junio	0,00
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	1,40
Octubre	450,80
Noviembre	1320,80
Diciembre	1738,70

Tabla 4.6: Masa de combustible necesaria mensual

A continuación, se muestra una gráfica con los resultados de la *Tabla 4.6*,

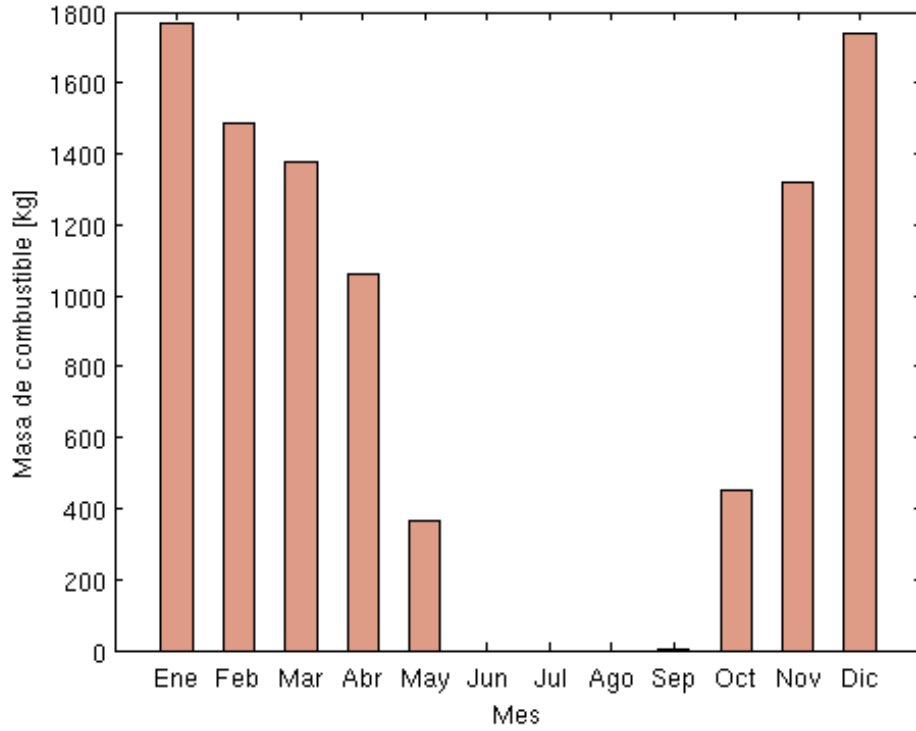


Figura 4.4: Consumo de masa de combustible por mes

Se aprecia que el consumo es mayor en los meses donde existe mayor demanda de calefacción, como es de esperar, y nulo en los meses donde la instalación solar cubre toda la demanda de ACS siendo nulo el consumo de calefacción (meses de julio y agosto).

Finalmente la masa de combustible necesaria en un año es,

$$m_{cTOTAL}(mes) = m_{cCALEFACCIÓN} + m_{cACS} = 9577 \text{ kg/año} \quad (4.18)$$

Por último se muestra una gráfica que representa el consumo de ACS y el calor útil producido por la instalación solar. En ella podemos comparar cada mes lo que produce la instalación con la demanda de ACS.

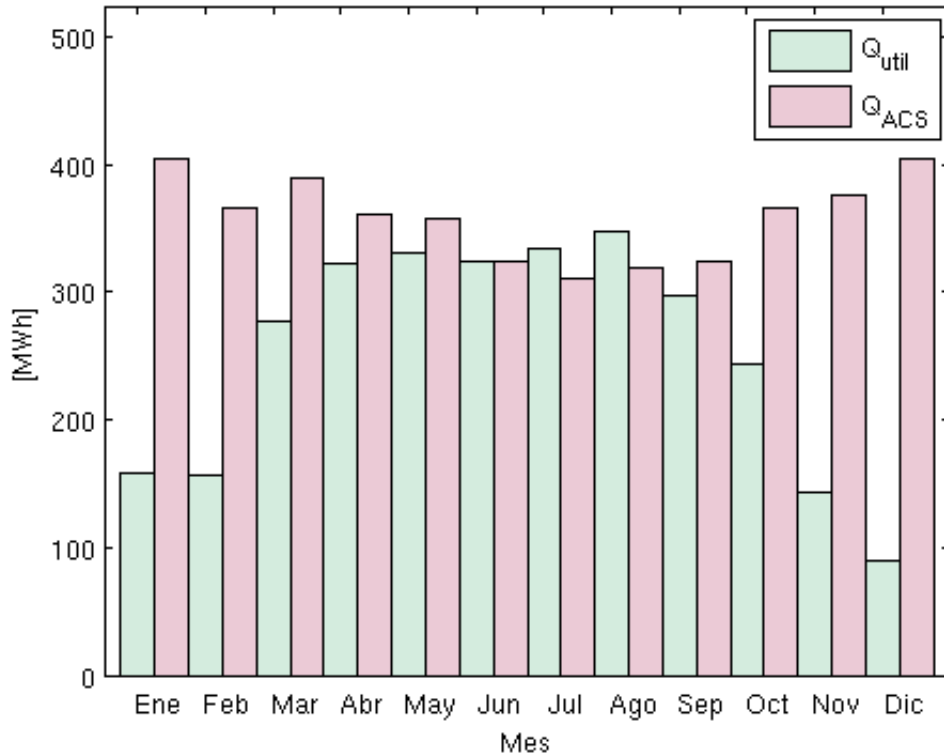


Figura 4.5: Calor Útil producido por la instalación solar y la demanda a cubrir de ACS

Como se aprecia en la figura en los meses de julio y agosto el calor útil producido por la instalación solar supera la demanda de ACS. Sin embargo, en el resto de meses del año la demanda siempre supera al calor útil producido.

4.3 PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA Y ANÁLISIS AMBIENTAL

En este apartado se realiza la estimación del coste de la instalación solar térmica. Para ello, se van a considerar los elementos más importantes de los que se compone dicha instalación, es decir, los colectores solares, el tanque de almacenamiento y la caldera de biomasa.

Se han utilizado dos colectores solares Solar-Lito Mini de la empresa WORCESTER del grupo *Bosch* cuyo coste alcanzan los 700 €. El acumulador de ACS de 80 l de la empresa BIOSAN tiene un precio de 188 €. Por lo tanto, el coste de la instalación ronda los 888 €.

Por otro lado se ha escogido una caldera de *pellets* para calefacción de la

empresa BIOSAN (Caldera de Pellets Serie GPL 40) cuyo coste alcanza los 4298 €. Además el precio por kg de *pellets* ronda los 0,23 €/kg, con lo cual, anualmente se gastarán 2243,65 €/año en combustible.

Finalmente el coste fijo de la instalación solar más caldera de biomasa ronda los 5186 €.

En cuanto al análisis ambiental se ha calculado el consumo de gas natural en el caso de no disponer de la instalación solar ni de la caldera de biomasa, es decir, solo se dispone de la caldera de gas natural para cubrir ambas demandas. Considerando el mismo rendimiento para la caldera, se consumiría en un año 471390 kg/año de gas natural y se emitirían 7379,3 kgCO₂/año a la atmósfera.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA CUBRIR EL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA VIVIENDA

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA CUBRIR EL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA VIVIENDA

En este capítulo se presenta la modelización de la instalación solar fotovoltaica con la que contará la vivienda para cubrir la demanda de refrigeración por medio de una bomba de calor, y de electricidad. Para cubrir la demanda de refrigeración se hará uso de los resultados de carga térmica que se encuentran en el Capítulo 3 y para la demanda de electricidad se estimará el consumo mensual en base a datos reales de demanda.

5.1 INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Una instalación solar fotovoltaica se divide en varios subsistemas para convertir la energía solar en electricidad. Los subsistemas son,

- **Subsistema de captación.** Se compone de los módulos fotovoltaicos y se encarga de captar la radiación solar y transformarla en corriente eléctrica, corriente continua que hay que convertir en corriente alterna para poder inyectarla a la red, con lo cual es necesario un subsistema de adecuación de corriente.
- **Subsistema de adecuación de la corriente.** Se encarga de transformar la corriente continua generada por los módulos en corriente alterna para poder inyectarla a la red eléctrica. Para llevar a cabo esta acción es necesario un inversor de corriente.
- **Subsistema de control.** Lo componen los elementos encargados de controlar la operación de todo el sistema (sensores, contadores...).

Dependiendo del diseño la instalación contará con más o menos subsistemas, en este caso se ha obviado el subsistema de almacenamiento, ya que la energía generada por los módulos fotovoltaicos se inyecta directamente a la red. Del mismo modo, el subsistema de apoyo, el cual se utiliza en el caso de que la instalación solar no fuera capaz de abastecer la demanda, no se considera debido a que la vivienda se abastece directamente de la red eléctrica.

Los subsistemas descritos anteriormente se muestran en la siguiente figura,

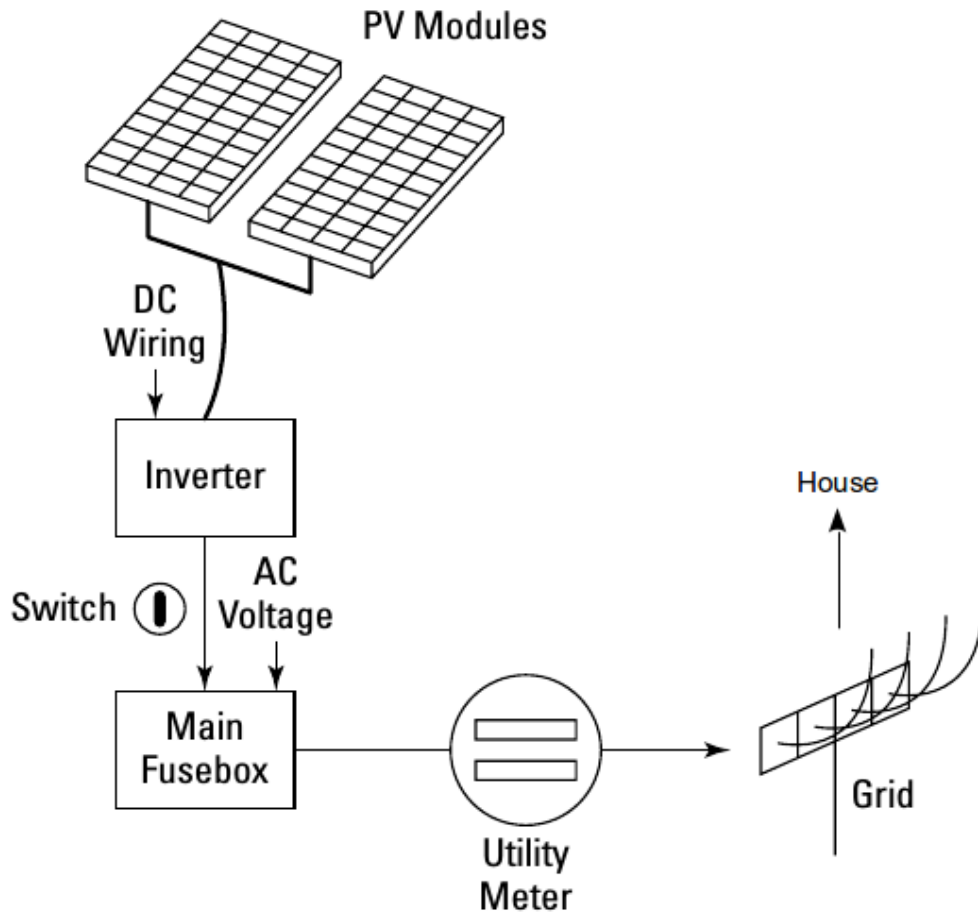


Figura 5.1: Esquema de la instalación solar fotovoltaica

En la figura se encuentran los subsistemas explicados anteriormente, es decir, el subsistema captación (*PV Modules*), subsistema de adecuación de corriente (*Inverter*) y el subsistema de control (*Utility Meter*). Además se observa que la instalación se conecta directamente a la red. Por otro lado, hay que añadir que la vivienda está conectada también a la red.

5.2 MODELIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

En este apartado se explica el modelo seguido para el dimensionado de la instalación solar fotovoltaica. La instalación solar contará básicamente de los módulos fotovoltaicos y de un inversor de corriente.

5.2.1 Modelo de los módulos fotovoltaicos

El módulo escogido para el dimensionado de la instalación es A-240P GS de la empresa *Atersa* de grupo *Elecnor*. Este módulo está construido con células de silicio (mono y poly) y cuenta con una pico de 230 W. Además el fabricante garantiza la producción eléctrica desde el amanecer hasta el atardecer y una garantía de 10 años contra defectos de fabricación y 25 años en rendimiento (83% potencia de salida). Las hojas de características se adjuntan en el Anexo del proyecto.

Para poder modelizar el funcionamiento de la instalación se hace uso de las curvas características de las células fotovoltaicas proporcionadas por el fabricante, las cuales son las curvas I-V, siendo I la intensidad y V la tensión generada en la célula en función de la Temperatura de la célula y de la Irradiación incidente. Por otro lado, el módulo elegido cuenta con una tensión y una intensidad de máxima potencia, 30 V y 8 A respectivamente y un rendimiento del módulo del 14,75 % en condiciones estándar (1000 W/m^2 y 25°C). La Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (TONC) es $45 \pm 3^\circ\text{C}$.

Las dimensiones del módulo son 1640x992x40 mm, con un peso 19.5 kg y está cubierto por cristal templado de alta transmitividad con bajo nivel de hierro de 3,2 mm de espesor. Lo componen unas 60 células policristalinas de dimensiones 156x156 mm conectadas en serie y en paralelo.

Las curvas características citadas se muestran a continuación,

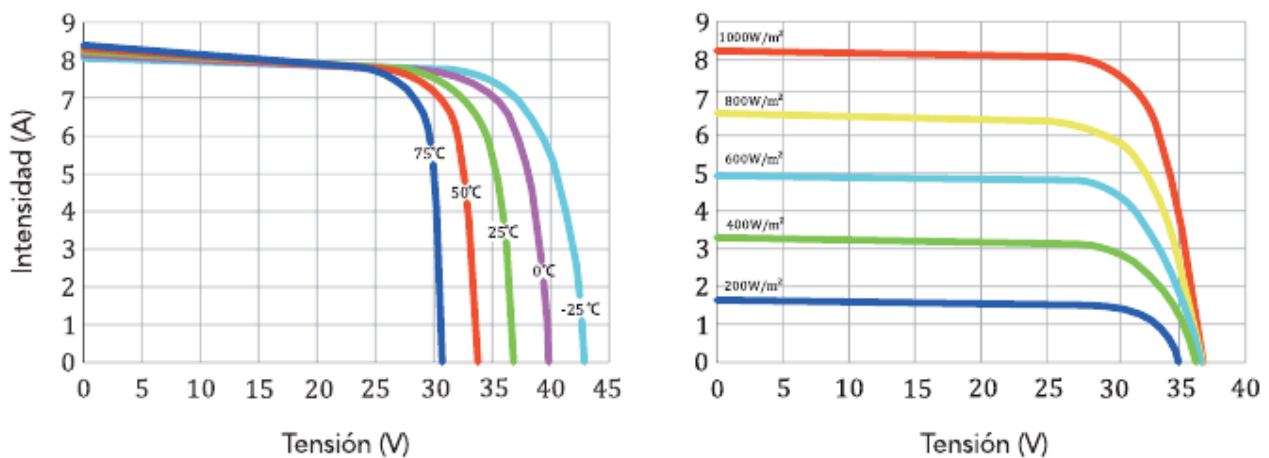


Figura 5.2: Curvas características (I-V) de Temperatura e Irradiación

La primera gráfica representa I-V para una temperatura de la célula determinada y en la segunda se representa I-V para una radiación incidente en la célula. Se aprecia en la primera gráfica que la tensión generada disminuye a medida que la temperatura aumenta, manteniéndose la intensidad mas o menos constante, o lo que es lo mismo, se produce una disminución de la potencia según aumenta la temperatura de la célula. En la segunda gráfica la intensidad se ve afectada cuando decrece la irradiación sobre la célula, y en este caso la tensión se puede considerar constante. Del mismo modo la potencia generada decrece cuando decrece la irradiación.

A partir de estas curvas es interesante conocer como varia el rendimiento de la célula con la Temperatura y la Irradiación con la siguiente relación,

$$\eta_{célula} = \frac{I V}{I_G A} \quad (5.1)$$

Para conocer la temperatura a la que trabaja de la célula existe una expresión que relaciona la temperatura ambiente con su temperatura de trabajo,

$$T_{célula} = T_e + I_{gl} \frac{T_{ONC} - T_{STC}}{I_{STC}} \quad (5.2)$$

siendo T_e la temperatura exterior (ambiente), I_{gl} la radiación solar incidente, T_{ONC} la Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula y T_{STC} e I_{STC} son la temperatura e irradiación en Condiciones de Test Standar respectivamente, definidas como: temperatura de 25 °C e irradiación de 1000 W/m².

En la siguiente gráfica se presenta la evolución de la temperatura de la célula y la temperatura ambiente para cada hora del año,

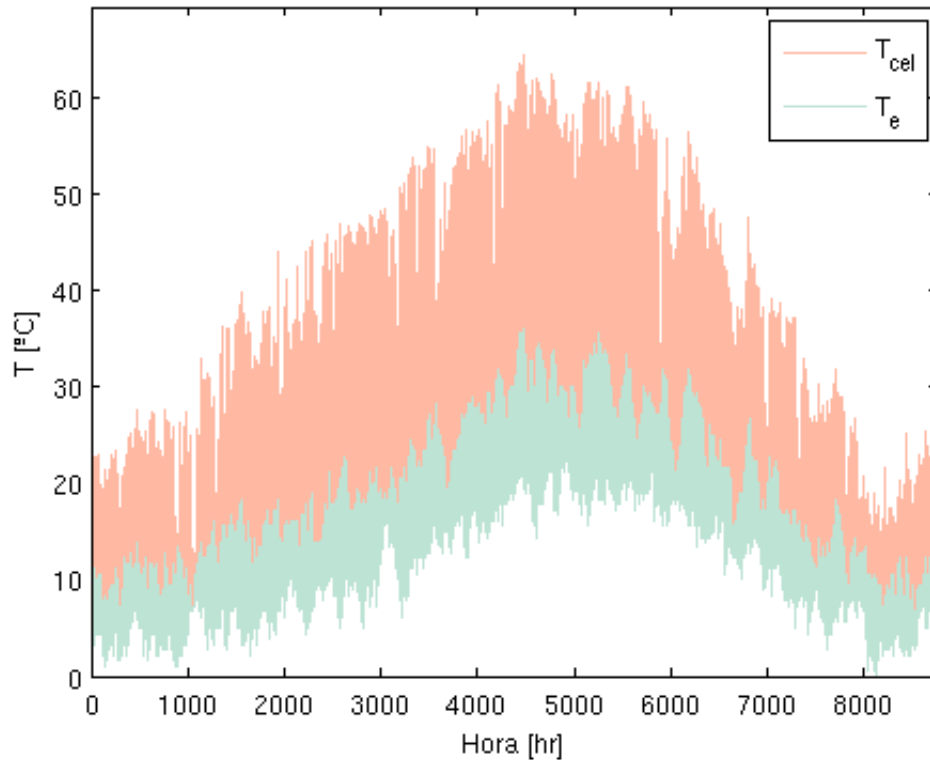


Figura 5.3: Temperatura de la célula y Temperatura exterior

Se aprecia en la *Figura 5.3* que la temperatura de la célula es claramente superior a la temperatura ambiente llegando a alcanzar una temperatura de 60 °C en los meses centrales del año.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el rendimiento de la célula en función de la temperatura y de la irradiación. En la primera gráfica se representa la variación del rendimiento de la célula en función de la temperatura de la misma, en ella se aprecia una variación notable del rendimiento con la temperatura, siendo mayor a bajas temperaturas e inferior a temperaturas más altas. En la segunda gráfica se representa el rendimiento de la célula en función de la irradiación incidente. En ella no se aprecia variabilidad del rendimiento con la irradiación manteniéndose en un valor constante en torno 13,8%.

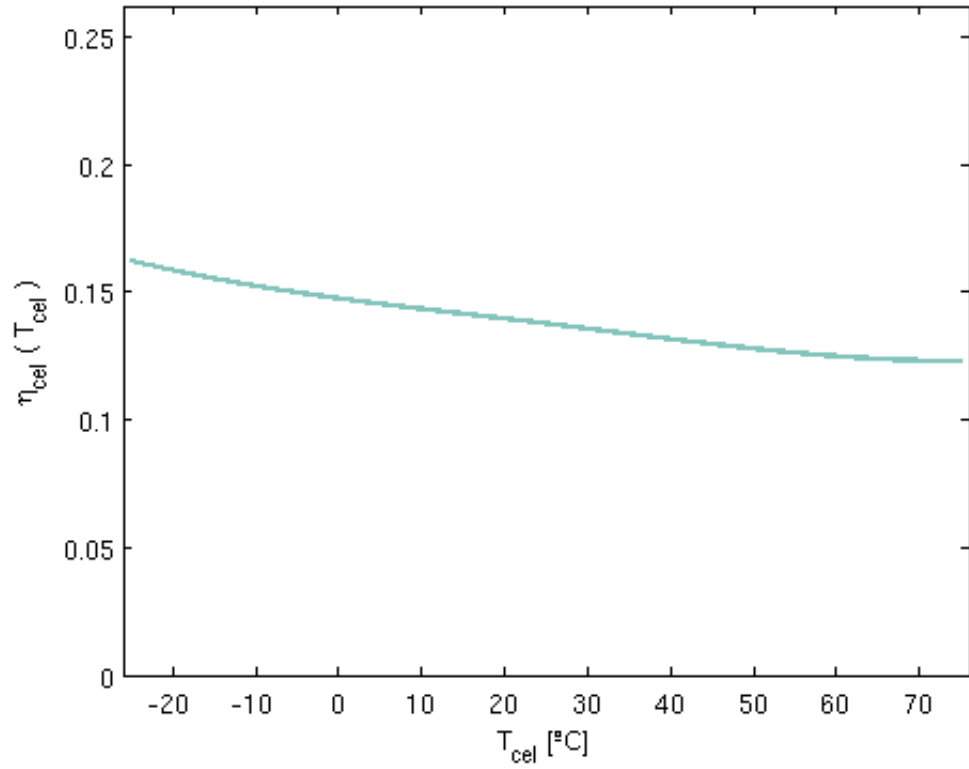


Figura 5.4: Rendimiento de la célula en función de la temperatura

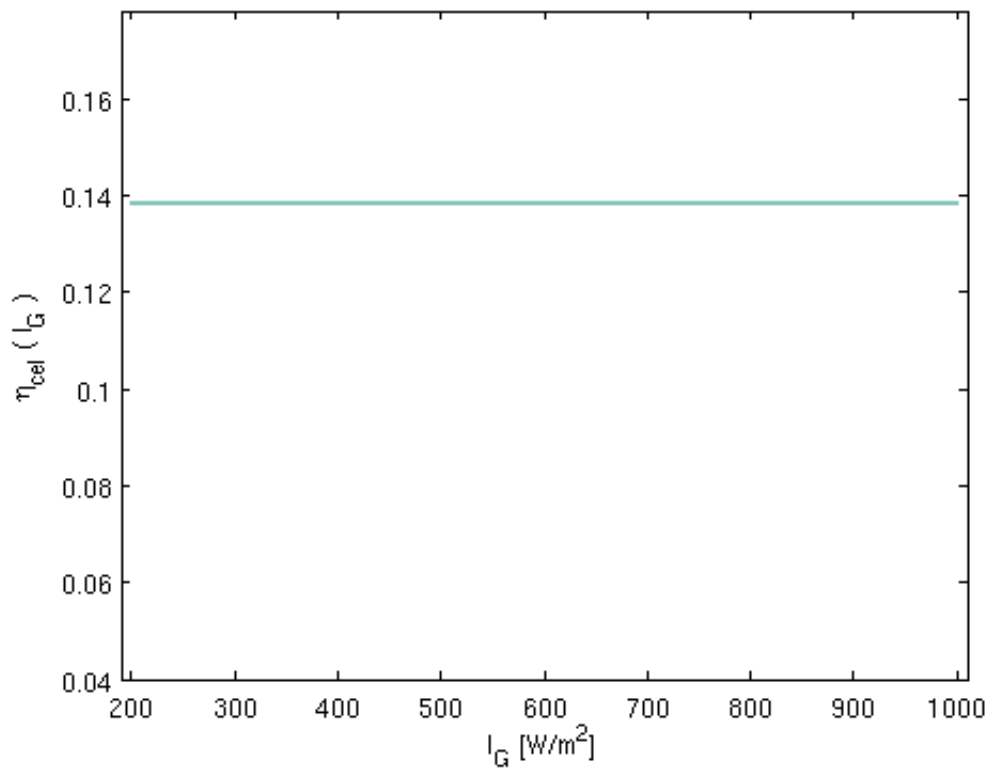


Figura 5.5: Rendimiento de la célula en función de la irradiación incidente

Para el cálculo del rendimiento del módulo se desprecian las pérdidas generadas por la conexión, es decir se asume que el rendimiento del módulo es igual al rendimiento de la célula. Además solamente se considera la variación que sufre el rendimiento con la temperatura. Su evolución para cada hora del año se muestra en la siguiente gráfica,

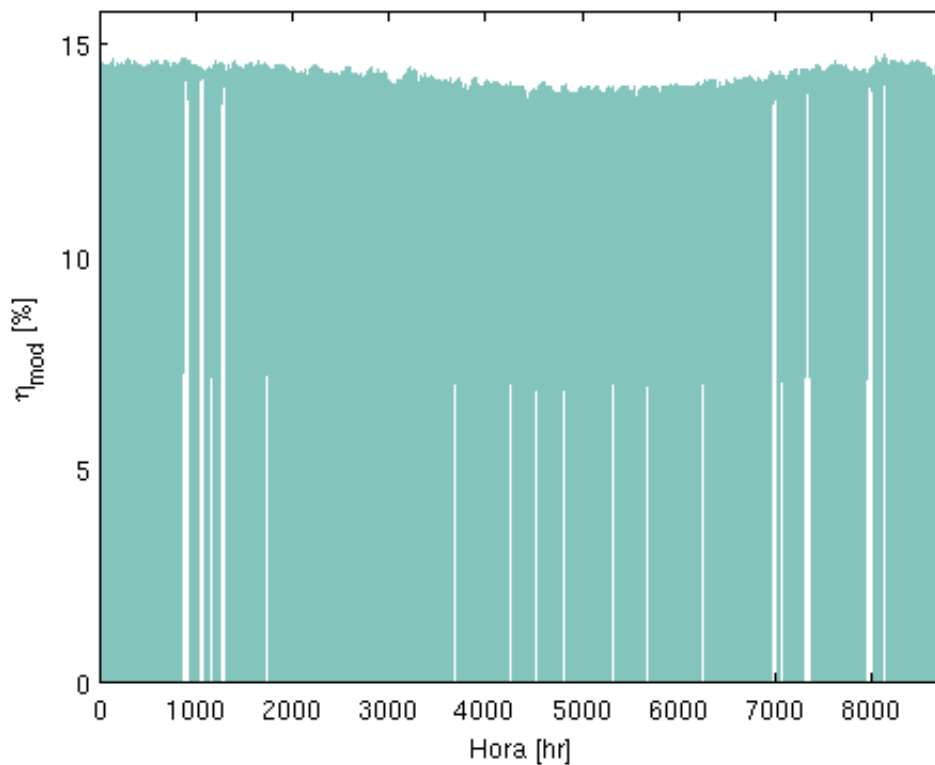


Figura 5.6: Rendimiento del módulo para cada hora del año

Se puede apreciar en la *Figura 5.6* que el rendimiento del módulo se mantiene más o menos constante a lo largo de todo el año, alrededor del 14,5% un valor muy cercano al que ofrece el fabricante 14,75%, siendo este inferior en los meses más calurosos. También hay que destacar que cuando no existe radiación incidente en el módulo el rendimiento es cero, ya que no se genera corriente eléctrica.

Es interesante conocer la potencia generada por un módulo para cada hora del año. En la siguiente gráfica se muestra la potencia generada en función de la hora del año,

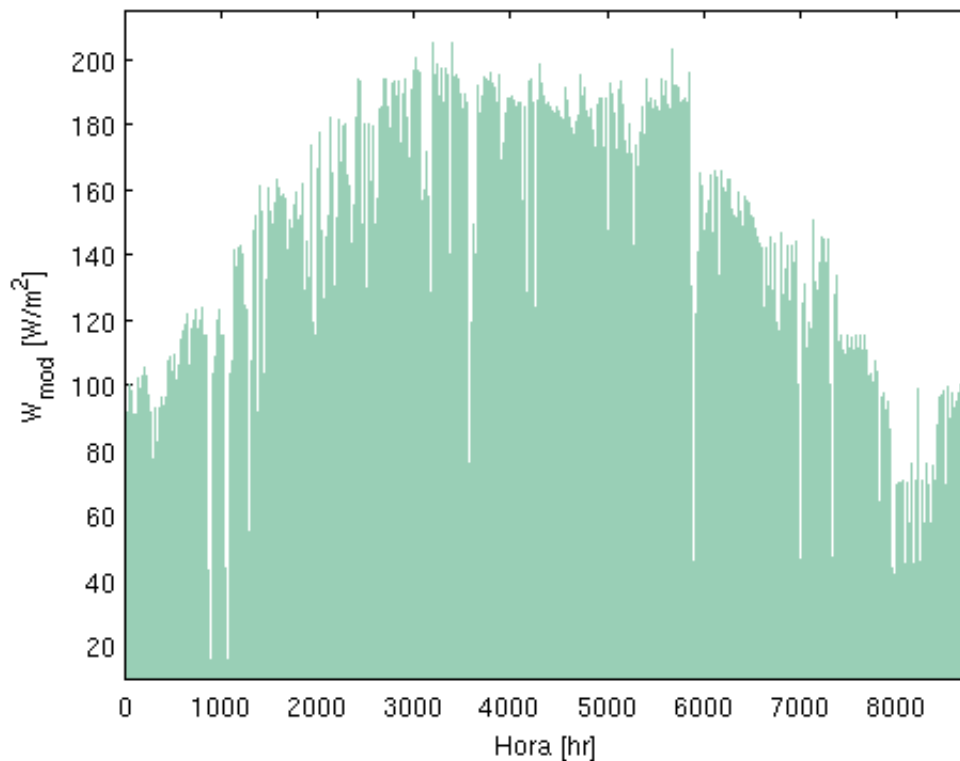


Figura 5.7: Potencia generada por el módulo en función de la hora del año

Cabe destacar que los valores de potencia más altos se alcanzan en los meses centrales del año, esto es debido a que la radiación incidente es mayor tal como se comentó en el Capítulo 3. Por otro lado, se alcanzan valores mínimos en el mes de diciembre y está directamente relacionado con la radiación solar, siendo mínima en ese mes. Hay que decir que la potencia máxima no supera la proporcionada por el fabricante (240 W), esto es debido a las condiciones no estándar en las que se encuentra el módulo funcionando.

5.2.2 Modelo del inversor

El inversor es necesario en la instalación solar fotovoltaica ya que es imprescindible transformar la energía eléctrica generada para poder inyectarla en la red eléctrica.

El inversor elegido será de la serie TAURO BC de la empresa *Atersa* del grupo *Elecnor*, no se puede decidir qué modelo utilizar de la serie al desconocer la potencia necesaria hasta realizar el dimensionado de la instalación. Sin embargo el fabricante asegura que la curva de rendimiento de toda

la serie presenta la siguiente evolución,

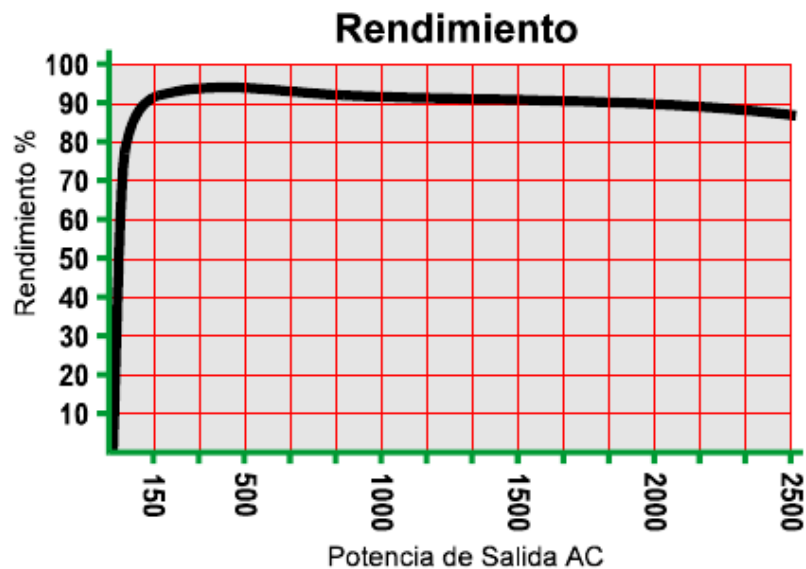


Figura 5.8: Rendimiento del inversor en función de la potencia de salida AC

Se puede apreciar que el rendimiento se mantiene casi constante, alrededor del 90%, para valores superiores a un valor crítico de funcionamiento mínimo de 100 W.

5.2.3 Modelo del equipo de compresión mecánica

Como se ha mencionado en la introducción del presente capítulo la demanda de refrigeración se pretende cubrir por medio de un equipo de compresión mecánica, haciendo uso de una bomba de calor, alimentada eléctricamente por medio de la instalación fotovoltaica, si es posible, o bien, a través de la red eléctrica. Se debe recordar que la instalación solar se diseñará en base a la suma de la energía eléctrica que demande la bomba de calor y el consumo eléctrico de la vivienda.

Para determinar el consumo de dicha bomba de calor se debe recordar su esquema de funcionamiento,

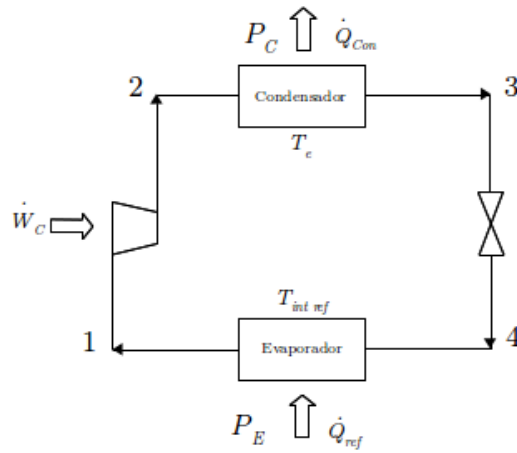


Figura 5.9: Esquema de una máquina de compresión mecánica

Para explicar el funcionamiento se hará uso del diagrama de *Mollier* o el diagrama P-h del refrigerante elegido, en este caso: R-410A. La base del funcionamiento de los equipos de compresión mecánica son las temperaturas de condensación que depende de la temperatura exterior (ambiente) y de evaporación, fija y que es función de la temperatura de confort interior en refrigeración de 25 °C.

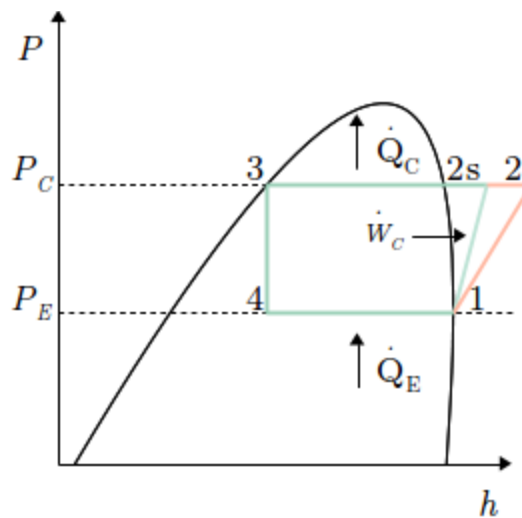


Figura 5.10: Diagrama Ph

Para explicar el funcionamiento del ciclo se parte del punto 1, situado a la salida del evaporador, con la presión correspondiente a la del evaporador y suponiendo que tenemos vapor saturado, correspondiente con una entalpía h_1 . El compresor comprime el refrigerante hasta una presión P_C en condiciones de vapor sobrecalentado. La compresión puede ser isoentrópica (1-2s) o no (1-2),

en este caso se considera que el rendimiento isoentrópico del compresor (η_c) es del 90%, con lo cual el valor de la entalpía del punto 2 es,

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_c} \quad (5.3)$$

A continuación el refrigerante pasa al condensador donde condensa en condiciones próximas a líquido saturado. Después del condensador se dispone una válvula isoentálpica para disminuir la presión del refrigerante a P_E y en condiciones de mezcla de líquido-vapor. Seguido a esta se encuentra el evaporador donde el refrigerante comenzará a evaporarse, para ello deberá absorber calor del ambiente del interior de la vivienda.

Una vez explicado el ciclo se puede definir el Coeficiente de Eficiencia Energética (COP en inglés) como el cociente del calor transferido desde el interior de la vivienda al refrigerante y el trabajo consumido por el compresor,

$$COP_{ideal} = \frac{Q_E}{W_{c_{ideal}}} = \frac{Q_E}{Q_C - Q_E} = \frac{T_E}{T_C - T_E} \quad (5.4)$$

Se considera que la temperatura del evaporador es la temperatura interior de la vivienda en refrigeración menos $\Delta T = 15^\circ\text{C}$, es decir,

$$T_E = T_{int \text{ ref}} - \Delta T \quad (5.5)$$

y la temperatura del condensador será la temperatura del ambiente exterior, siempre superior a $T_{int \text{ ref}}$, más el mismo incremento de temperatura $\Delta T = 15^\circ\text{C}$,

$$T_C = T_e + \Delta T \quad (5.6)$$

Como ya se ha especificado antes, el flujo de energía del evaporador corresponde con la carga térmica de refrigeración, y por lo tanto, el flujo de calor del condensador será,

$$Q_C = Q_E + W_C \quad (5.7)$$

Conocido el valor máximo de demanda de refrigeración se puede especificar la máquina de compresión mecánica a utilizar, siendo el valor máximo de 17,1 kW se va a emplear el modelo 30RB021-033 de la empresa *Carrier*, cuyas hojas de características se adjuntan en el Anexo VII.

Además si se asume el rendimiento isoentrópico del compresor del 90% el Coeficiente de Eficiencia Energética puede obtenerse a partir de las entalpías,

$$COP_{real} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (5.8)$$

Los resultados obtenidos para el COP_{real} se representan en la siguiente gráfica,

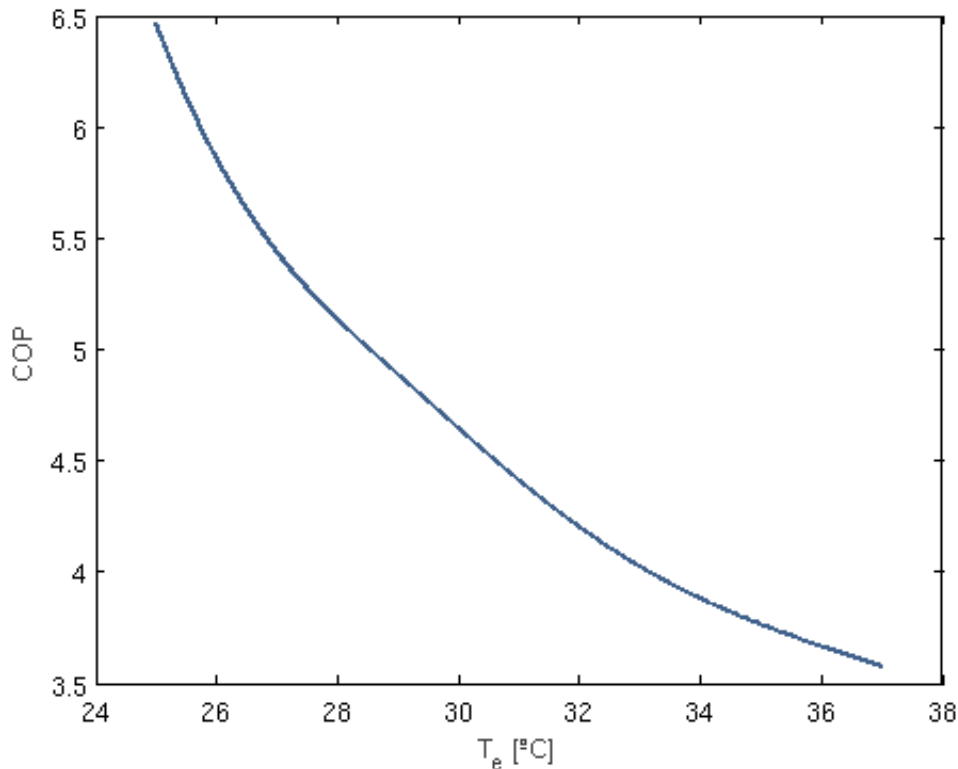


Figura 5.11: Representación del COP en función de la temperatura exterior

Se aprecia que para valores de temperatura exterior próximos a la

temperatura $T_{int \text{ ref}}$, el COP obtenido es mayor que para valores más altos de temperatura exterior.

En este caso es interesante conocer el Coeficiente de Eficiencia Energética Eléctrico. Para ello hay que asumir un rendimiento indicado del refrigerante, un rendimiento mecánico del compresor y un rendimiento eléctrico los cuales se definen a continuación,

- **Rendimiento indicado.** Relaciona el trabajo aportado al refrigerante y el trabajo realizado por el compresor. Normalmente se asume un valor del 90%.

$$\eta_i = \frac{\text{Trabajo sobre el refrigerante}}{\text{Trabajo realizado por compresor}} \quad (5.9)$$

- **Rendimiento mecánico del compresor.** Es aquel rendimiento que relaciona el trabajo realizado por el compresor y el trabajo aplicado en el eje del mismo. Tiene un valor entorno al 85 %.

$$\eta_m = \frac{\text{Trabajo realizado por compresor}}{\text{Trabajo en el eje del compresor}} \quad (5.10)$$

- **Rendimiento eléctrico.** Este rendimiento relaciona el trabajo mecánico que se aplica al eje del compresor y el trabajo eléctrico consumido por el mismo. Su valor se encuentra alrededor del 90 %.

$$\eta_e = \frac{\text{Trabajo en el eje del compresor}}{\text{Trabajo eléctrico consumido}} \quad (5.11)$$

Finalmente se define el Coeficiente de Eficiencia Energética Eléctrico como,

$$COP_e = COP \eta_i \eta_m \eta_e \quad (5.12)$$

Los resultados obtenidos para el COP_e se muestran en la siguiente gráfica donde se aprecia que el valor máximo del COP_e es claramente inferior al valor máximo obtenido para el COP,

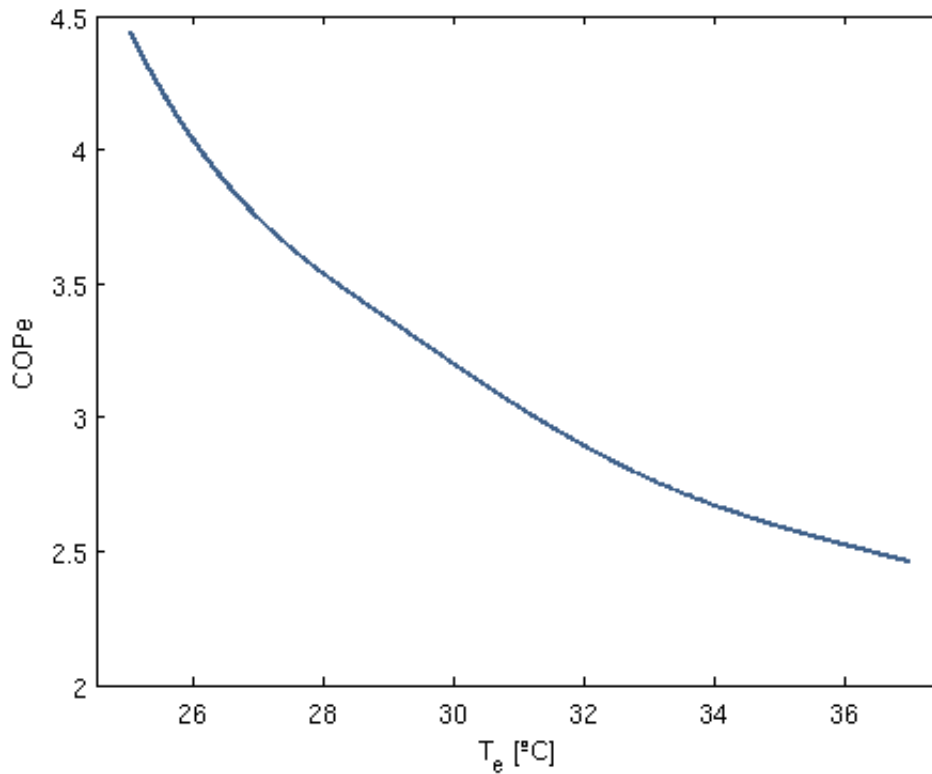


Figura 5.12: Representación del COP_e en función de la temperatura exterior

Así pues, el trabajo eléctrico consumido por el compresor se define como,

$$W_{ce} = \frac{\dot{Q}_e}{COP_e} \quad (5.13)$$

Por lo tanto, una vez conocido el trabajo eléctrico consumido por el compresor y el consumo eléctrico de la vivienda se puede dimensionar la instalación solar fotovoltaica.

La potencia eléctrica total consumida por el compresor durante todo el año tiene un valor de 3,36 MWh y su consumo horario durante un año se muestra en la siguiente gráfica,

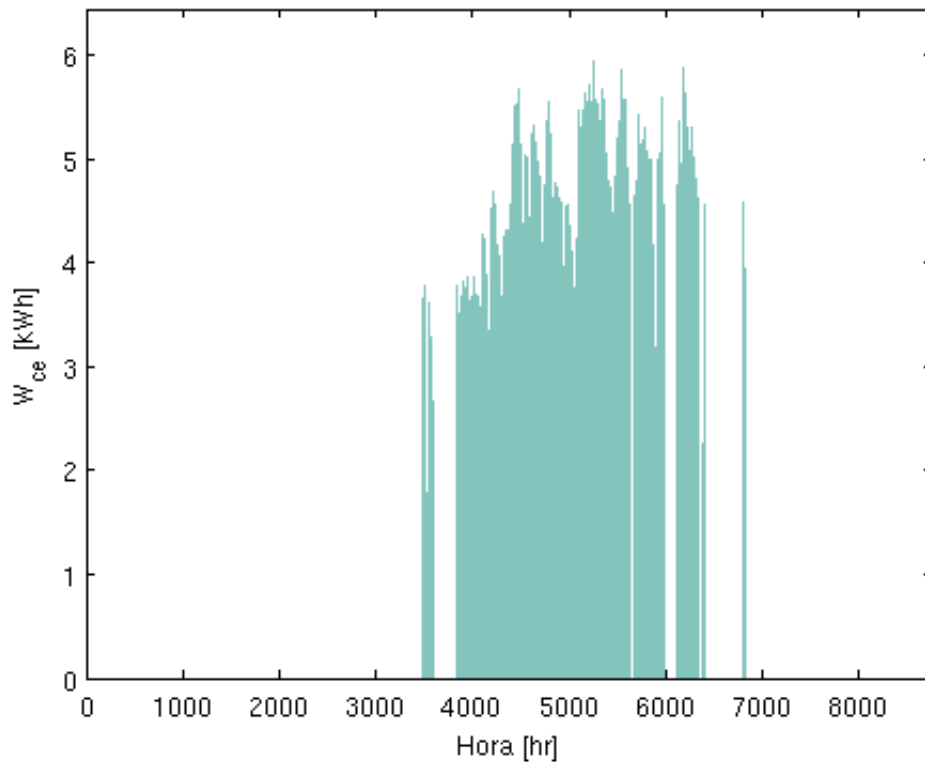


Figura 5.13: Representación del consumo eléctrico del compresor

Se aprecia que el consumo eléctrico del compresor es mayor en los meses más centrales del año, cuando la temperatura exterior es mayor. Se puede observar que el sistema de refrigeración tiene demanda durante el mes de octubre (6600 hr), lo que corresponde en Madrid con el “verano de San Miguel”, época del año donde se alcanzan temperaturas similares a los meses de verano en la capital.

El consumo de electricidad mensual se estima en función de datos reales de demanda, es decir, los datos han sido recopilados de facturas de electricidad. En la siguiente gráfica se muestra el consumo mensual de electricidad, tanto la consumida por el compresor del sistema de refrigeración, mes a mes, como el resto de electricidad consumida en la vivienda (luz, aparatos electrónicos...),

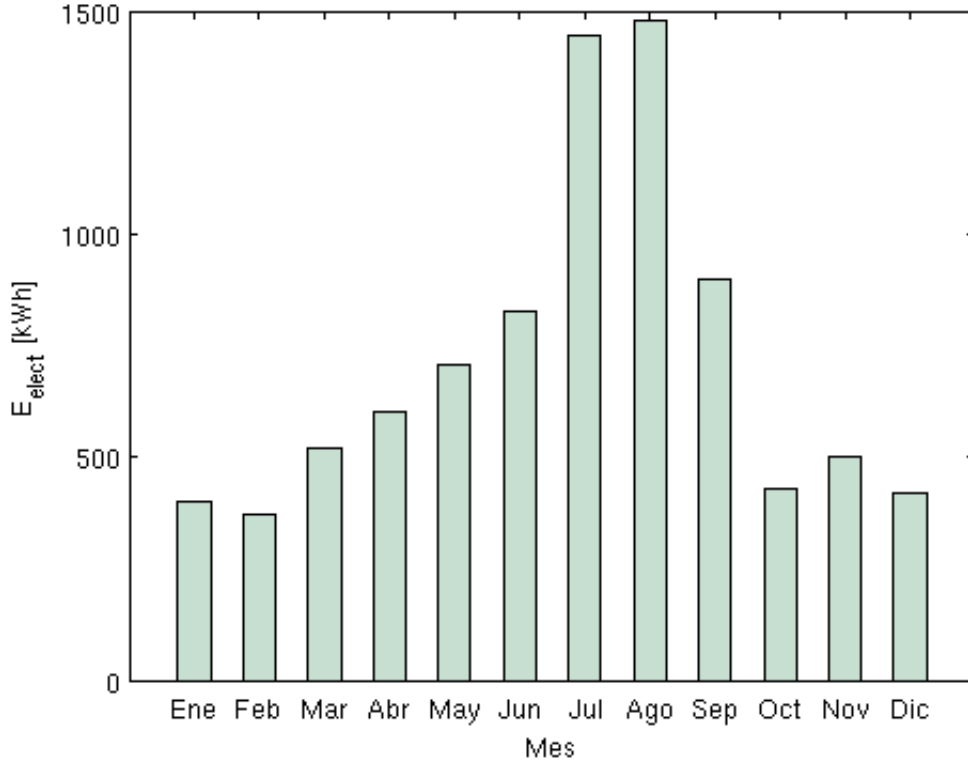


Figura 5.14: Consumo de electricidad mensual de la vivienda en kWh

Se observa que el consumo eléctrico se dispara en los meses más calurosos, cuando hay más demanda de refrigeración. Sin embargo, en el resto de meses no se aprecia tanta variación ya que la demanda de electricidad se mantiene mas o menos constante a lo largo de todo el año ~ 450 kWh/mes. El consumo total anual de electricidad tiene un valor de 8,59 MWh.

5.3 DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Una vez determinada la modelización de la instalación fotovoltaica se va a realizar el dimensionado de la misma. Al disponer de todos los datos de consumo de electricidad de la vivienda se puede determinar el número de módulos fotovoltaicos necesarios.

La cantidad de energía producida por metro cuadrado de módulo fotovoltaico se define como,

$$E_{e_{prod}} = \eta_{SF} I_{gl} \quad (5.14)$$

Siendo η_{SF} el rendimiento del sistema fotovoltaico,

$$\eta_{SF} = \eta_{mod} \eta_{inv} \quad (5.15)$$

asumiendo que el rendimiento del inversor es constante y de valor del 90% como se dijo en el apartado 5.2.2.

Se tiene que la energía producida por metro cuadrado de módulo en un año es de valor 209,8 kWh/m² y la energía total consumida en la vivienda en un año, 8,59 MWh. Por ello el área necesaria de módulos fotovoltaicos es de 40,94 m², siendo el área de un módulo de 1,63 m², el número de módulos que hacen falta para cubrir por completo la demanda es de 26.

Utilizando los 26 módulos la energía producida por la instalación solar fotovoltaica por hora del año se muestra a continuación,

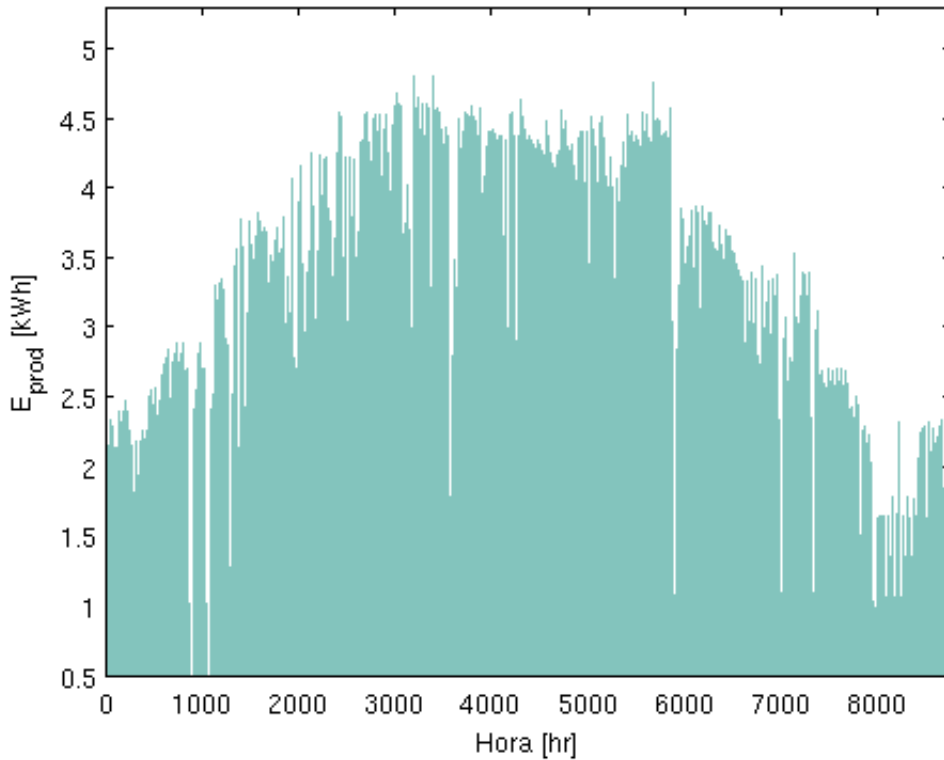


Figura 5.15: Energía producida por la instalación solar fotovoltaica

La energía producida está directamente relacionada con la cantidad de radiación incidente en los módulos fotovoltaicos, por ello es fácil interpretar que donde la energía producida es menor es debido a la escasa radiación que

llega a ellos. Esto ocurre en los primeros meses del año y en los últimos.

Como ya se conoce la potencia que produce la instalación solar fotovoltaica se puede escoger el inversor. El criterio a seguir es que este pueda soportar la máxima potencia producida por la instalación, 4800 W, por ello el modelo que cumple las especificaciones es el TAURO BC 5048.

A continuación se muestra una gráfica comparativa de la cantidad de energía producida por la instalación fotovoltaica y la consumida en la vivienda en cada mes del año,

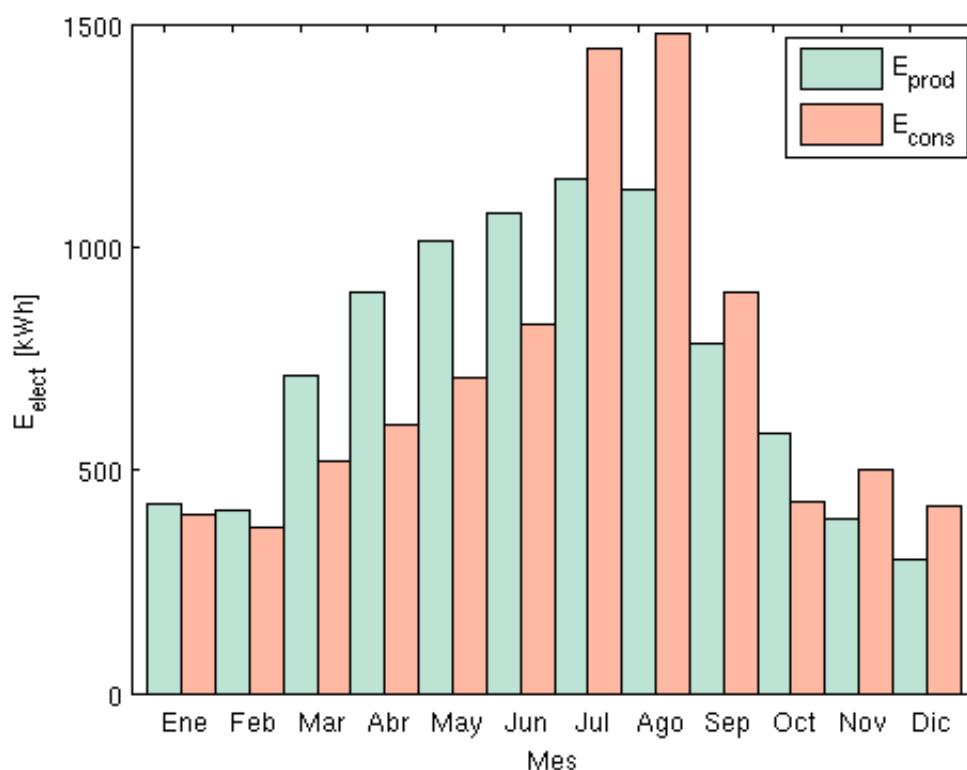


Figura 5.16: Energía producida por la instalación solar fotovoltaica y la consumida en la vivienda

Se puede observar que durante los seis primeros meses del año la energía producida cubre toda la demanda de electricidad de la vivienda. Sin embargo, en los meses donde existe más demanda de refrigeración no se puede cubrir con la instalación solar toda la energía consumida. En los últimos meses del año la radiación solar es tan baja que tampoco se puede cubrir toda la demanda eléctrica con la instalación solar fotovoltaica.

Finalmente se puede calcular el rendimiento global para la instalación solar fotovoltaica de la siguiente manera,

$$\eta_{SF} = \frac{\text{Energía producida por los módulos fotovoltaicos}}{\text{Energía captada por los módulos}} \quad (5.16)$$

También este rendimiento puede calcularse con la expresión (5.14). Se tiene un resultado de valor,

$$\eta_{SF} = 11,9 \% \quad (5.17)$$

Siendo un rendimiento para este tipo de instalación aceptable.

5.4 ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Para estimar el coste de la instalación solar fotovoltaica se consideran, al igual que en el presupuesto de las instalaciones térmicas, el coste de los elementos más importantes que la componen, como son los módulos fotovoltaicos, el inversor y el equipo de compresión mecánica.

El coste de los 26 módulos elegidos, A240P GS de la empresa *Atersa* del grupo *Elecnor*, alcanzan los 13520 € (520 €/módulo) y el del inversor (TAURO BC 5048) es de 2930 €. Por lo que la instalación solar fotovoltaica alcanza los 16450 €. Por otro lado, el equipo de compresión mecánica de la empresa *Carrier* (30RB021) tiene un precio de 7550 €. Finalmente el coste total alcanzaría los 24000 €.

Si toda la demanda de refrigeración y de electricidad no se cubriera con la instalación diseñada en este proyecto, todo el consumo de electricidad procedería de la red eléctrica. Esto tendría un coste en el consumo eléctrico anual de 1313,55 €/año. Desde el punto de vista ambiental se emitirían 3350,5 kgCO₂/año.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

En este proyecto se ha diseñado y simulado una vivienda basada en energías renovables. En el presente capítulo se exponen las conclusiones obtenidas tras la realización del proyecto.

6.1 ¿POR QUÉ DISEÑAR UNA VIVIENDA BASADA EN ENERGÍAS RENOVABLES?

La situación energética en la que nos encontramos actualmente hace la necesidad de buscar alternativas en las energías renovables. Como se expuso en la capítulo introductorio la situación de abastecimiento energético por medio de combustibles fósiles está seriamente en duda, cada vez es menos la cantidad de combustibles fósiles en la naturaleza lo que conlleva incrementos en su precio. Más crítica en la situación de España, ya que no posee combustibles fósiles y se ve obligada a comprarlos en el exterior.

Además no hay que olvidar la inmensa preocupación actual sobre la sostenibilidad del medio ambiente y la búsqueda de reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera. Todo ello hace buscar alternativas en cuanto a la generación de energía se refiere.

Por otro lado, el consumo energético en el sector de la edificación constituye un tercio del total de la energía consumida, de ahí la necesidad de implantar instalaciones basadas en energías renovables que cubran la demanda de la vivienda para prescindir de los combustibles tradicionales.

Por todo lo dicho anteriormente se decidió comenzar el proyecto de diseño de una vivienda que estuviera basada en energías renovables. El objetivo principal era desarrollar una vivienda cien por cien renovable, pero debido al excesivo coste que aquello conllevaba se decidió finalmente diseñar y simular una vivienda que estuviera basada en energías renovables.

6.2 DISEÑO DE LA VIVIENDA

En este proyecto también se ha diseñado la vivienda, no solo las instalaciones, por ello tanto el diseño como los materiales seleccionados han sido escogidos por la propia autora del proyecto. Esta vivienda fue diseñada en base a las características que presentan las viviendas de hoy en día con el objetivo de hacer más viable la propuesta planteada.

6.3 CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA DE LA VIVIENDA

Para poder desarrollar las instalaciones con las que cuenta la vivienda se tuvo que realizar el análisis de carga térmica de la misma. Para ello se tuvo que calcular la carga térmica de calefacción y la carga térmica de refrigeración. Para la carga térmica de calefacción se estudió la carga de transmisión y de intercambio de aire, y para la carga térmica de refrigeración se estudió además de las dos anteriores, la carga de radiación y la carga interna. Desde el punto de vista del cálculo de las cargas térmicas el Código Técnico de la Edificación es imprescindible. Gracias a él se asegura el acondicionamiento de la vivienda dentro de unos límites, asegurando, por tanto, la viabilidad de la misma.

Si se analizan los resultados de los dos tipos de carga térmica a estudiar se tiene que en el caso de calefacción la carga de transmisión y de ventilación e intercambio de aire son del mismo orden, es decir, la carga de transmisión corresponde con el 56% del total y el 44% restante a la de ventilación e infiltraciones, como se puede comprobar en el Capítulo 3 del proyecto. Por ello es importante considerar ambas en el estudio de calefacción. Por otro lado, en el caso de refrigeración, de los cuatro tipos de carga térmica que se han estudiado la más relevante es la carga de radiación debido principalmente a la gran superficie de ventanas que tiene la vivienda. La carga de radiación corresponde con el 75% del total de la carga, mientras que la de transmisión, ventilación e intercambio de aire y la carga interna corresponde el 25 % restante.

Todos los resultados obtenidos tras el análisis están contrastados con el Código Técnico de la Edificación, por lo tanto se puede asegurar que la vivienda contará con unas condiciones de acondicionamiento idóneas.

6.4 INSTALACIONES TÉRMICAS DE LA VIVIENDA

En el Capítulo 4 se realizó el dimensionado de la instalación solar para Agua Caliente Sanitaria (ACS) y de la caldera de biomasa para cubrir la demanda de calefacción y la demanda no cubierta de ACS. La instalación solar fue diseñada siguiendo las especificaciones del Código Técnico de la Edificación (CTE). El CTE ofrece datos de consumo medio por persona y día de ACS, y referido a la instalación solar de ACS exige unos requisitos que cumplir. Los resultados del dimensionado cumplen con dichos requisitos, además es capaz de cubrir en un 70,41 % de la demanda de ACS, porcentaje que se considera aceptable por el CTE.

Por otro lado, la caldera de biomasa tiene el objetivo de cumplir la demanda de calefacción y la parte de la demanda de ACS que la instalación solar es incapaz de cubrir. Por ello, la demanda final anual que tienen que cubrir la caldera es de 39,88 MWh. Por lo tanto el consumo estimado de biomasa (*pellets*) es de 9775 kg/año.

6.4.1 Análisis económico de las instalaciones térmicas

Los elementos a considerar en el análisis económico de la instalación solar son los colectores solares y el tanque de almacenamiento. El coste de los dos colectores que se emplean en la instalación, Solar-Lito Mini de la empresa WORCESTER del grupo *Bosch*, alcanzan los 700 € y el precio del tanque de almacenamiento escogido con una capacidad de 80 l es de 188 €. Por lo tanto, el coste estimado de la instalación es de 888 €.

La caldera de biomasa escogida es Caldera de Pellets Serie GPL 40 de la empresa BIOSAN, cuya potencia máxima es de 32 kW y un precio de 4298 €. El precio medio del kg de *pellets* es de 0,23 €/kg, por lo tanto el coste de masa de *pellets* necesaria es de 2243,65 €/año (coste variable que no se incluye en el presupuesto).

La estimación del coste fijo total de las instalaciones térmicas para calefacción es de 5186 €.

6.5 INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

La instalación solar fotovoltaica se ha diseñado con objetivo de cubrir la demanda de refrigeración, por medio de un equipo de compresión mecánica, y la demanda eléctrica de la misma. Como se explica en el Capítulo 4 la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se inyecta directamente a la red eléctrica. La instalación cuenta con 26 módulos que, considerando los rendimientos oportunos, es capaz de cumplir con la demanda citada, es decir, produce 8,875 MWh, un 3,3% más del necesario. Se debe comentar que la demanda de refrigeración de los meses centrales es tan elevada que se llega a consumir más energía eléctrica de la que producen los módulos, sin embargo, esta energía extra consumida en esos meses está cubierta por la producción eléctrica de los módulos en los demás meses del año.

El equipo de compresión mecánica cumple con la demanda de refrigeración de la vivienda alcanza los 3,361 MWh anuales. Respecto a la demanda eléctrica, también cubierta por la instalación, ha sido estimada con datos reales de consumo como se especifica en el Capítulo 5, alcanzando los 5,23 MWh.

6.5.1 Análisis económico de la instalación solar fotovoltaica

Para estimar el cálculo de la instalación solar fotovoltaica se considerará el coste de los módulos fotovoltaicos y del inversor. Los módulos fotovoltaicos alcanzan un precio de 520 €/módulo, por lo tanto el coste total alcanza 13520 €, siendo el precio del inversor de 2930 €. Con lo cual, el precio de la instalación solar fotovoltaica es de 16450 €. En cuanto al equipo de compresión mecánica, el modelo utilizado es 30RB021 de la empresa Carrier y su coste es de 7550 €. Finalmente el coste de la instalación solar fotovoltaica y el equipo de compresión mecánica es de 24000 €.

6.6 AHORRO DE EMISIONES DE CO₂

En cuanto a las emisiones de CO₂, considerando todas las instalaciones diseñadas en este proyecto, la masa de CO₂ que se dejaría de emitir alcanzaría los 10729,8 kg/año, una cantidad considerable que se debe tener en cuenta.

BIBLIOGRAFÍA

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [Julio 2013]. Disponible en: <http://www.idae.es>

Informe del consumo energético español, Madrid, 2013, Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es>

Energía 2013-2014, Madrid, 2014, Foro de la industria Nuclear Española. Disponible en: <http://www.foronuclear.org>.

Código Técnico de la Edificación (CTE), Ministerio de Fomento.

Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y Ministerio de Vivienda

Frank P., De Witt, David P., *Introduction to heat transfer, Incropera*, 4th edition, Canada, 2001.

ÇENGEL, Yunus A., *Transferencia de calor y masa*, Cuarta Edición, McGraw Hill, Mexico 2011.

ÇENGEL, Yunus A., *Termodinámica*, Séptima Edición, McGraw Hill, Mexico 2012.

Apuntes de la asignatura Calor y Frío Industrial, curso 2013 – 2014

John A. Duffie and William A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Process*, John Wiley & Sons. Third Edition.

Marcelo Izquierdo Millán. “Capítulos 1-5”. *Sistemas térmicos de energía solar para la producción de calor y frío*. Marzo 2013.

[Catálogo] *The Greenskies range of solar thermal panels*, WORCESTER Group.

[Catálogo] Acumulador de Agua Caliente Sanitaria de 80 Litros. <http://grupobiosan.com>. [16 de junio de 2014].

[Catálogo] Caldera de Pellets Serie GPL 40. <http://grupobiosan.com>. [16 de junio de 2014].

[Catálogo] Módulo Solar AxxxP GS Atersa del grupo Elecnor.

[Catálogo] Inversor senoidal TAURO BC Atersa del grupo Elecnor.

[Catálogo] 30RB017-033 Enfriadoras de agua de condensación por aire de *Carrier*.

[Software] MATLAB (Versión 7.12.0 R2011^a).

[Software] LibreOffice Writer.

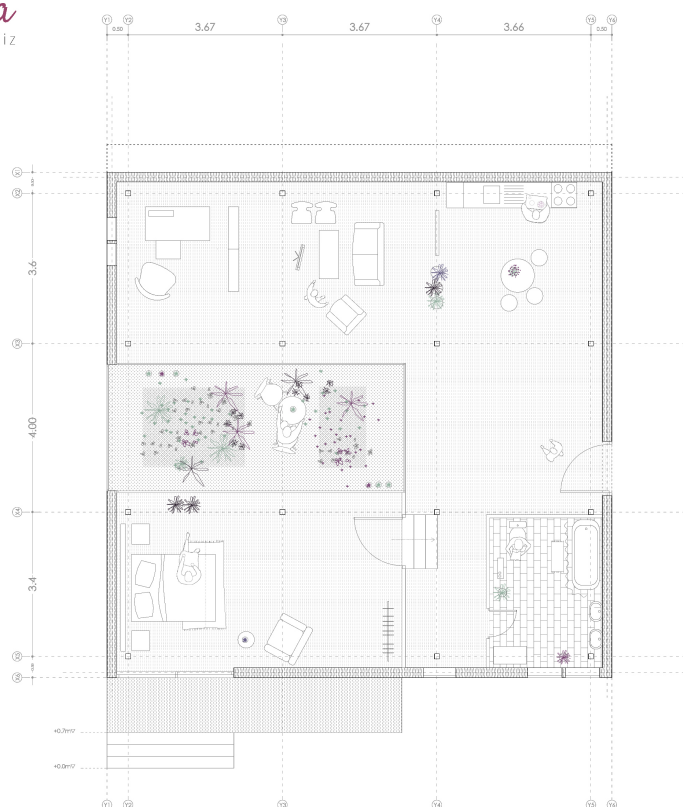
[Software] LibreOffice Calc.

[Software] GIMP.

[Software] AutoCad.

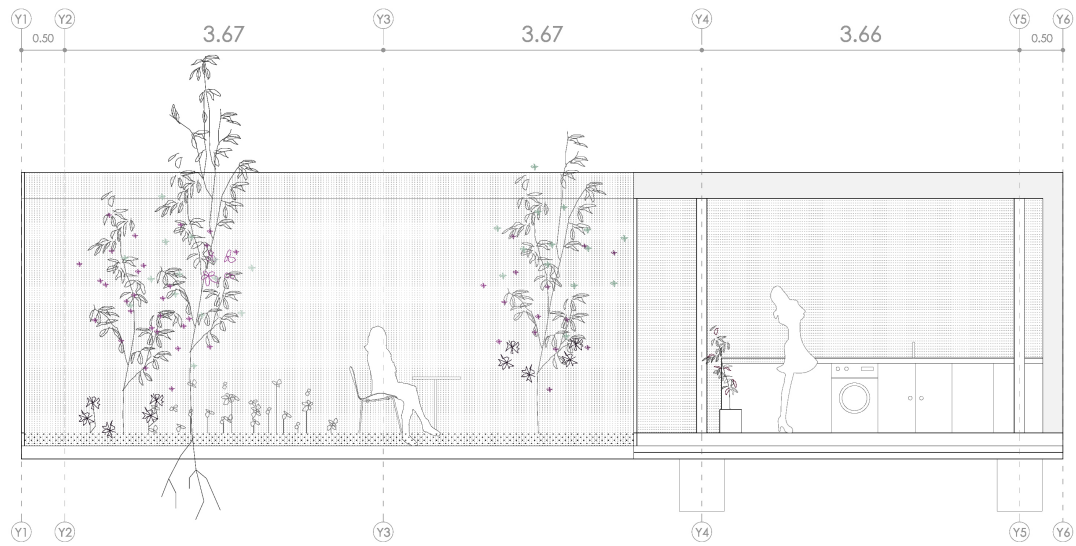
ANEXO

Planta Mi casa
Vivir renovablemente feliz



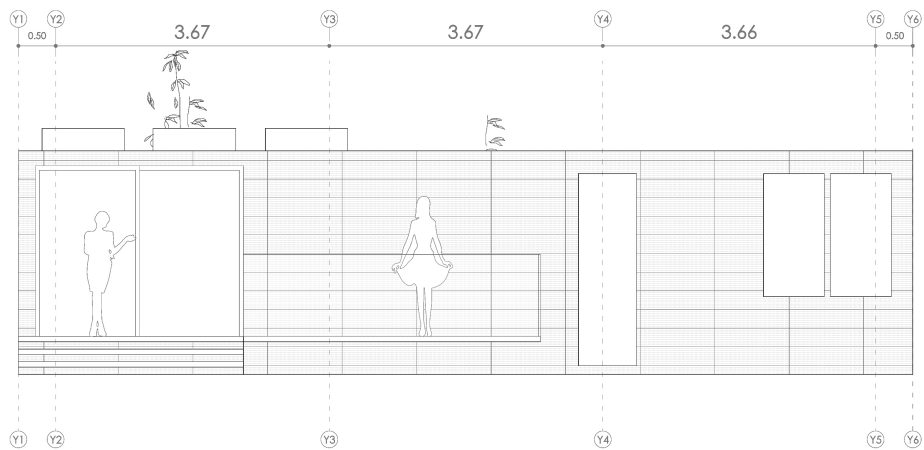
Sección Mi casa

Vivir renovablemente feliz



Alzado Mi casa

Vivir renovablemente feliz



II. Colectores Solar-Lito Mini WORCESTER

Greenskies solar thermal panels at a glance

Panel type	Solar-Lux 6	Solar-Lux 12	Solar-Lifestyle	Solar-Lifestyle	Solar-Lito	Solar-Lito Mini
Orientation	6 Tube	12 Tube	Portrait	Landscape	Portrait	Portrait
Dimensions	2057 x 702 x 101mm	2057 x 1392 x 101mm	1175 x 2017 x 87mm	2017 x 1175 x 87mm	1032 x 2026 x 67mm	1032 x 1032 x 67mm
Gross collector area	1.44m ²	2.86m ²	2.97m ²	2.37m ²	2.09m ²	1.06m ²
Aperture area	1.28m ²	2.57m ²	2.25m ²	2.25m ²	1.94m ²	0.96m ²
Absorber area	1.06m ²	2.14m ²	2.18m ²	2.18m ²	1.92m ²	0.87m ²
Absorber volume	0.97 litres	2.12 litres	0.94 litres	1.35 litres	0.8 litres	0.62 litres
Weight empty	24kg	49kg	40kg	41kg	30kg	16kg
Coating	High selective (PVD)				Black chrome	
Absorption	95 ± 2%				95 ± 2%	
Emission	5 ± 2%				10 ± 2%	
η_0	64%	64%	79%	77%	76%	74%
s_1	0.749 W/m ² °K	0.749 W/m ² °K	3.327 W/m ² °K	3.327 W/m ² °K	4.052 W/m ² °K	4.424 W/m ² °K
s_2	0.005 W/m ² °K ²	0.005 W/m ² °K ²	0.016 W/m ² °K ²	0.016 W/m ² °K ²	0.0138 W/m ² °K ²	0.013 W/m ² °K ²
1,000 W/m ²						
ΔT = 0K	824 W/m ²	1,655 W/m ²	1,725 W/m ²	1,735 W/m ²	1,470 W/m ²	698 W/m ²
ΔT = 30K	790 W/m ²	1,586 W/m ²	1,478 W/m ²	1,450 W/m ²	1,209 W/m ²	563 W/m ²
ΔT = 50K	760 W/m ²	1,527 W/m ²	1,279 W/m ²	1,233 W/m ²	1,009 W/m ²	460 W/m ²
Stagnation temperature	301°C	301°C	199.3°C	199.3°C	164°C	164°C
Max. operation pressure	10 bar	10 bar	6 bar	6 bar	6 bar	6 bar
Max. operation pressure	10 bar	10 bar	6 bar	6 bar	6 bar	6 bar
Nominal flow rate [l/h]	166 litres/hour	166 litres/hour	50 litres/hour	50 litres/hour	50 litres/hour	47 litres/hour

W = power (instant power)

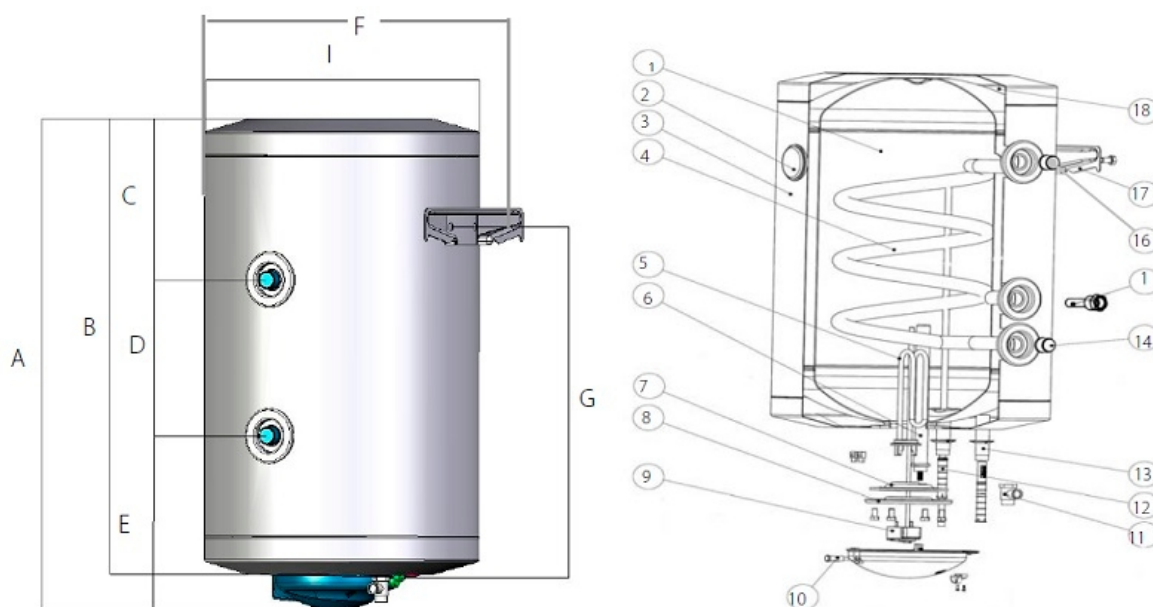
Solar-Lito Mini



Solar-Lito Mini on-roof installation

III. Tanque de Acumulación BIOSAN

INTERACUMULADOR	80L	100L	120L	150L
CÓDIGO	AMUT001	AMUT002	AMUT003	AMUT004
MONTAJE	Mural			
TIPO DE CIRCUITO	Indirecto			
INTERCAMBIADOR	Serpentín			
PESO (Kg)	34	40	45	51
S intercambio	0,21	0,28	0,70	0,70
D x H	480 x 795	480 x 945	480 x 1.090	480 x 1.305
PROTECCIÓN CATÓDICA	Ánodo de magnesio			



1. Acumulador de ACS
2. Termometro
3. Cubierta externa de acero
4. Intercambiador de calor
5. Kit eléctrico
6. Ánodo de protección
7. Junta de goma
8. Brida
9. Termostato

10. Piloto luminoso
11. Válvula de seguridad
12. ACS hacia consumo (1/2"M)
13. Entrada agua fría de red (1/2"M)
15. Vaina sonda
16. Entrada a intercambiador (3/4"M)
17. Elemento de fijación
18. Aislamiento


IV. Caldera de Pellets Serie GPL 40 BIOSAN

DETALLES

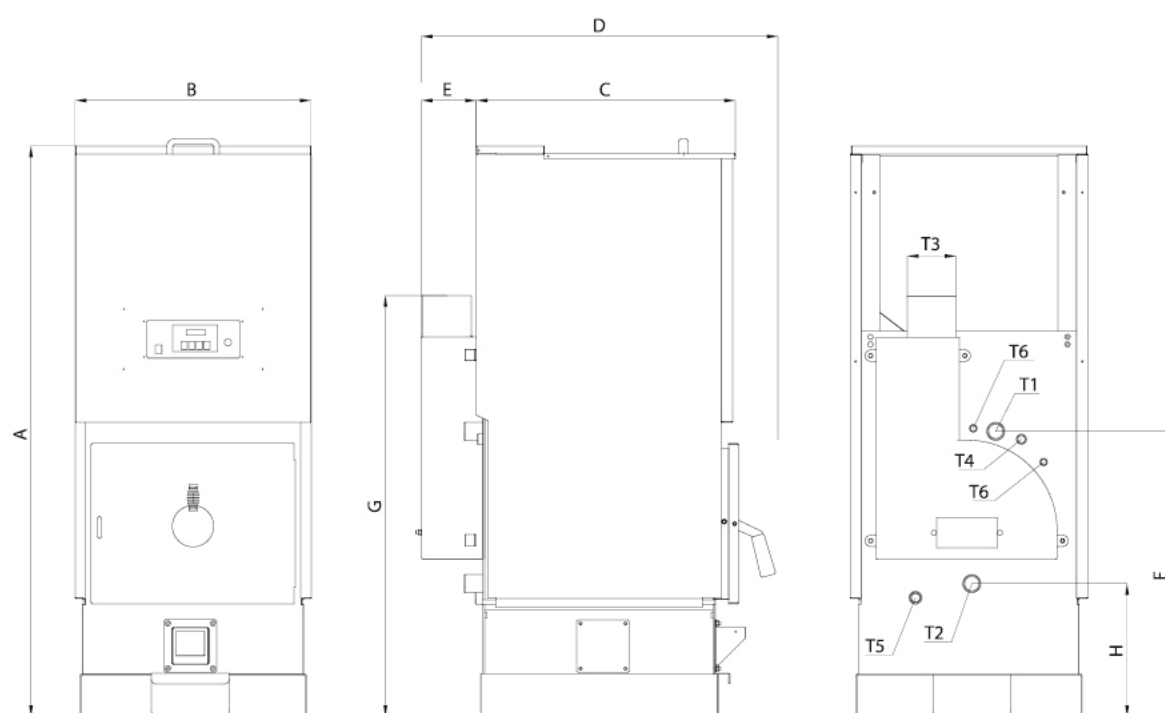
La caldera de pellets Serie GPL, es una de las calderas de pellets más versátil, su principal combustible es el pellet, pero también dispone de un kit adicional que permite la combustión de otros combustibles como; hueso de aceituna, cascara de almendra , maíz y leña.

Como puntos fuertes cabe destacar de este modelo de caldera de biomasa su diseño compacto y reducido , que esta especialmente indicado para aquellas viviendas en las que el espacio no les permitan instalar una caldera de pellets convencional.

DATOS TÉCNICOS

CALDERA DE PELLETS GPL 40		
Potencia térmica máxima	32 kW	 max
Potencia térmica mínima	12 kW	 min
Rendimiento energético a potencia máxima	87%	 max
Rendimiento energético a potencia mínima	89,7%	 min
Consumo de Pellet a potencia máxima	6 Kg/h	 max
Consumo de Pellet a potencia mínima	2,25 Kg/h	 min
Presión Máxima	3 bar	 bar
Volumen a calentar	800 m3	
Capacidad del depósito pellet	36/126 Kg	
Depósito de agua	42 Litros	
Diámetro salida de humos	130 cm Ø	
Mando a distancia	Cronotermostato Wireless	
Peso	275 kg	

MEDIDAS



V. Módulos Fotovoltaicos A240P GS Atersa del grupo Elecnor

A-xxxP GS (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas

Potencia Máxima (P _{max})	230 W	235 W	240 W	245 W	250 W	255 W	260 W
Tensión Máxima Potencia (V _{mp})	29,5 V	30 V	30 V	30 V	30,5 V	30,5 V	31 V
Corriente Máxima Potencia (I _{mp})	7,8 A	7,83 A	8 A	8,17 A	8,2 A	8,36 A	8,39 A
Tensión de Circuito Abierto (V _{oc})	36,6 V	37,2 V	37,2 V	37,2 V	37,8 V	37,8 V	38,2 V
Corriente en Cortocircuito (I _{sc})	8,42 A	8,46 A	8,65 A	8,74 A	8,85 A	9,02 A	9,05 A
Eficiencia Célula Encapsulada (%)	16,9	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6	18
Eficiencia del Módulo (%)	14,1	14,44	14,75	15,1	15,4	15,67	16
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5						
Máxima Serie de Fusibles (A)	15						
Máxima Tensión del Sistema (TUV/UL)	DC 1000 V						
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	45±3						

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 W/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.
Tolerancias medida STC: ±3% (P_{mp}); ±10% (I_{sc}, V_{oc}, I_{mp}, V_{mp}).

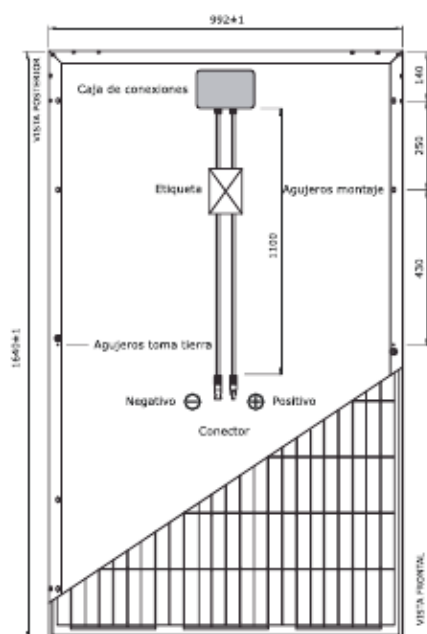
Especificaciones mecánicas

Dimensiones	1640x992x40 mm
Peso	19,5 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa
Máx. impacto granizo (diámetro/velocidad)	25 mm / 23 m/s

Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor)	Cristal templado alta transmisión/bajo nivel hierro/3,2 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	60 células (6x10)/poli cristalina /156 x 156 mm
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado /platea
Caja de conexiones (grado de protección)	IP67
Cable (longitud/sección) / Conector	1100 mm. (1000 mm.)/4 mm ² /Compatible MC4

Vista genérica construcción módulo



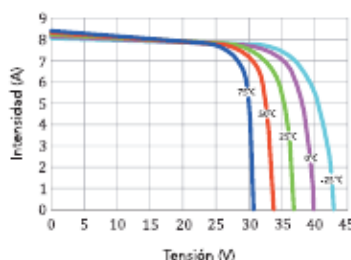
Características de temperatura

Coef. Temp. de I _{sc} (TK I _{sc})	0.02% /°C
Coef. Temp. de V _{oc} (TK V _{oc})	-0.32% /°C
Coef. Temp. de P _{max} (TK P _{max})	-0.43% /°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 to +85 °C
Temperatura de Almacenamiento	-20 to +40 °C

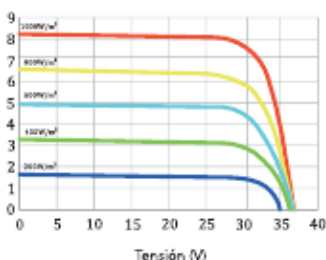
Embalaje

Módulos/país	26 pz
País/contenedor 40'	28 paíes
Módulos/contenedor 40'	728 pz

Temperatura Varía



Irradiación Varía



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

www.atersa.com • atersa@elecnor.com

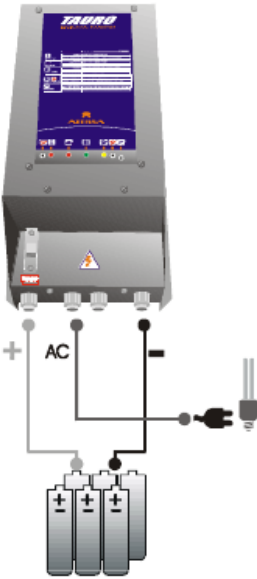
Madrid (España) +34 915 178 452 • Valencia (España) +34 961 038 430 • Italia +39 335 250 781

Revisado: 03/12/13
Ref.: MU-6P 6x10-GS-A
© Atersa SL, 2013



VI. Inversor TAURO BC 5048 Atersa grupo *Elecnor*

Diagrama de instalación

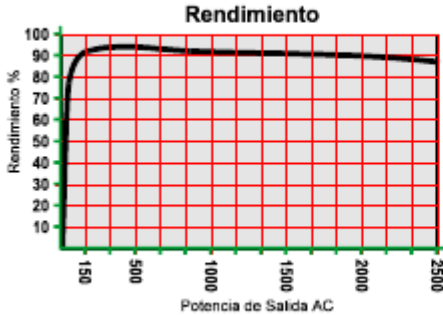


INFORMACIÓN TÉCNICA

MODELO	712	1512	824	1524	1524/V	2024/V	3024/V	848	1548	2548	2548/V	5048/V	4120/V	
Especificaciones Eléctricas														
Potencia Nominal a 20°C	700 VA	1500 VA	800 VA	1500 VA	1500 VA	2000 VA	3000 VA	800 VA	1500 VA	2500 VA	2500 VA	5000 VA	4000 VA	
Tensión Nominal de Entrada	12 Vdc				24 Vdc					48 Vdc			120 Vdc	
Rango Tensión de Entrada (Vdc)	10-16				20-32					40-64			100-160	
Desconexión Automática Baja Tensión (Vdc)	10.8-11.6				21.9-23.2					43.8-46.4			108-116	
Potencia Pico de Arranque	+300%													
Intensidad máxima de Pico de Arranque en DC	160 A		150 A		180 A		300 A	350 A		150 A		180 A	350 A	90 A
Forma de Onda														
Senoidal Pura														
Tensión Nominal de Salida	230 Vac o 110 Vac (según modelo)													
Rango Tensión de salida	± 7 %													
Frecuencia Nominal de Salida	50 Hz o 60Hz (según modelo)													
Rango Frecuencia de salida	± 0,1 Hz													
Distorsión Armónica Media	< 4 %													
Rendimiento Máximo	93 %													
Potencia en Régimen Constante	450 VA	1400 VA	500 VA	900 VA	1350 VA	1800 VA	2800 VA	600 VA	900 VA	1100 VA	2300 VA	4200 VA	3800 VA	
Opción de tensión de salida 110V y 60Hz	Sí	Sí	Sí	Sí		No	Sí			Sí		Sí	Sí	
Sensibilidad para Arranque Automático														
9 W														
Consumo aprox. en Vacío a tensión nominal generando AC.	0.70 A	0.80 A	0.35 A	0.39 A		0.65 A	0.85 A	0.15 A	0.25 A	0.30 A		0.86 A	0.30 A	
Consumo Medio en automático	70 mA			48 mA		60 mA	70 mA	32 mA		38 mA		90 mA	38 mA	
Consumo Mínimo en automático	47 mA			33 mA		33 mA				25 mA		25 mA	25 mA	
Sistema de Aislamiento														
Transformador toroidal según norma VDE-0550														
Especificaciones Físicas														
Fomato (ver página siguiente)	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B	
Sistema de Refrigeración (por convección)	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Forzada	
Rango de Temperatura de Trabajo	-5 / +40 °C													
Humedad Relativa Máxima (sin condensación)	< 95%													
Dimensiones aprox. (en mm.)														
	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	678x330x233	
Peso (aprox.)	14 Kg	30 Kg	14 Kg	17 Kg	34 Kg	34 Kg	14 Kg	17 Kg	19 Kg	34 Kg	34 Kg	34 Kg	32 Kg	
Índice de protección	IP20													
Material envolvente	Chapa de Aluminio pintada con resina EPOXI en caliente													
Terminiería	Acero Inox													

Características a tensión nominal, a 20°C de temperatura ambiente y a nivel del mar. Estos datos pueden estar sujetos a modificaciones sin previo aviso.

TAURO BC 2548



VII. Máquina de compresión mecánica 30RB021 *Carrier*

Carrier

30RB017-033 Enfriadoras de agua de condensación por aire
30RQ017-033 Bombas de calor aire-agua

Datos físicos

		30RB Modelos sólo frío				30RQ Modelos Bomba de calor				
		017	021	026	033	017	021	026	033	
Capacidad frigorífica neta*	kW	16,5	21,6	27,6	33,6	16,1	20,4	27,0	33,0	
Capacidad calorífica neta**	kW	-	-	-	-	16,8	21,4	29,6	33,0	
Peso en funcionamiento (2)	Kg	189	208	255	280	206	223	280	295	
Refrigerante	R-410A									
Compresor	Uno, tipo Scroll					Uno, tipo Scroll				
Tipo de control	Pro-Dialog Plus					Pro-Dialog Plus				
Intercambiador de calor de agua	Uno, tipo placas					Uno, tipo placas				
Kit hidráulico	Bomba, filtro de tamiz, vaso de expansión, manómetro, válvula de purga, interruptor de flujo y válvula seguridad									
Bomba	Una, de una sola velocidad									
Volumen del vaso de expansión	l	5	5	8	8	5	5	8	8	
Intercambiador de calor de aire	Tubos de cobre, aletas de aluminio									
Caudal de agua (Frío)	l/s	0,79	1,03	1,32	1,60	0,77	0,97	1,28	1,58	
Conexiones de agua (Sal./Ent)	Pulg	1" - 1 1/4"	1" - 1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1" - 1 1/4"	1" - 1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	
Presión disponible (caudal nominal)	kPa	150	130	172	160	150	130	200	178	
Ventilador	Dos axial de 2 velocidades Uno axial de 2 velocidades Dos axial de 2 velocidades Uno axial de 2 velocidades									
Caudal de aire	l/s	2.212	2.212	3.530	3.530	2.217	1.978	3.530	3.530	
Tensión de alimentación	V-ph-Hz	400-3-50								
Consumo nominal frío/calor	kW	5,25	6,64	8,52	9,74	4,92/5,20	6,30/6,41	8,62/9,04	9,84/10,13	
Corriente nominal	A	8	12	16	17	8	12	16	17	
En cortocircuito	A	75	95	118	118	75	95	118	118	
Consumo bomba	kW	0,54	0,59	0,99	1,10	0,54	0,59	0,99	1,10	
Clase Energética Eurovent Frío/Calor		A	A	A	A	A/A	A/A	A/A	A/A	

(1) Datos nominales de funcionamiento según condiciones Eurovent: LCP / A / AC
 - Funcionamiento en frío: Entrada de agua 12°C y salida 7°C. Aire exterior a 35°C.T.S.
 - Funcionamiento en calor: Entrada de agua a 40°C y salida a 45°C. Aire exterior a 7°C.T.S. y 6°C.T.H.
 - Caudal de aire y agua nominales.
 - Consumos en condiciones nominales.
 (2) Peso con kit hidráulico.

Dimensiones, mm

	30RB Modelos sólo frío				30RQ Modelos Bomba de calor			
	017	021	026	033	017	021	026	033
Ancho	1.136	1.136	1.002	1.002	1.136	1.136	1.002	1.002
Fondo	584	584	824	824	584	584	824	824
Alto	1.579	1.579	1.790	1.790	1.579	1.579	1.790	1.790

30RB/RQ 017-033

